



**FRANCISCA MARIA RIBEIRO COUTINHO  
GONÇALVES SOARES**

Licenciatura Engenharia do Ambiente

## **CONTRIBUTO PARA A AVALIAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS CINZENTAS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professora Doutora Leonor Amaral, Prof. Auxiliar FCT/UNL



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro 2012





**FRANCISCA MARIA RIBEIRO COUTINHO  
GONÇALVES SOARES**

Licenciatura Engenharia do Ambiente

**CONTRIBUTO PARA A AVALIAÇÃO DA  
POSSIBILIDADE DE REUTILIZAÇÃO DE ÁGUAS  
CINZENTAS**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária

Orientador: Professora Doutora Leonor Amaral, Prof. Auxiliar FCT/UNL



**FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA**

Setembro 2012

.

The greywater is the new black!

À minha filha Nônô



## Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer à minha orientadora, Professora Leonor Amaral, pela inspiração, perseverança, entusiasmo, espírito crítico e cumplicidade. A professora é sem dúvida a principal motivadora para a finalização deste trabalho que ficou suspenso durante tantos anos. A si Professora Leonor, muito obrigada! Além de lhe estar muito grata pelo seu contributo teórico na elaboração desta tese, quero principalmente agradecer a amizade e os conselhos com que me brindou durante este período, dos quais estou muito grata. Obrigada por acreditar em mim!

Quero ainda agradecer a todos os professores que desde cedo me instigaram a querer saber mais e a aprender que “saber é poder”. Em especial aos professores da FCT-UNL, pela motivação e entusiasmo transmitido, paralelamente às respectivas matérias, que tanto contribuíram para a minha formação enquanto Engenheira Sanitarista. Um obrigado especial àqueles que, durante este interregno, me desafiaram para terminar este trabalho!

Às minhas Catarinas, Ferreira e Pedroso, pela amizade, companheirismo, cumplicidade, desafio contante, perseverança, fé em mim, sensibilidade. São muito especiais para mim, muito mais do que colegas e ficarão para sempre na minha vida! Cata, a nossa dinâmica de grupo é e será sempre mítica, ainda vamos criar uma empresa de sucesso! Nina, obrigada por me ensinares a ver a outra perspectiva que sempre tem tendência a escapar-me – a boa!

À minha família emprestada, que são os meus amigos de sempre, um enorme obrigado! Eu sou um bocado de cada um de vocês e sem vocês não sou nada. Arnalda, Sancha, Norton, Maninha, Xica, Juanita, Pipis, Diogo, vocês são parte de mim e é impensável viver sem cada um de vocês! “Sancha és um pilar, Arnalda és o meu espelho, Norton és as minhas asas, Maninha és o “axuca” da minha vida, Xica és o pragmatismo, Juanita és a terra, Pipis és poder e Diogo és o irmão que não tive. Vocês sabem!”

Elske, obrigada pela força que me deste nestes últimos dois anos, pela admiração que leio nos teus olhos, e em particular pela forma subtil como me desafiaste para terminar isto neste ano que passou e, especialmente, a coragem que me passaste nesta recta final que mudará para sempre a minha vida. És muito especial e estarás sempre presente, de alguma forma.

Quero agradecer a toda a minha família pela intensidade com que me transmitiram o sentido de família e a forma como o concretizaram: através da união, cumplicidade, suporte, amor incondicional, que a transportam para uma dimensão à parte e a fazem ser Família.

Mariana, minha irmã, minha amiga, destemida de tudo e todos, “me mete o dedo na ferida” e me encoraja a lutar e a acreditar que é possível vencer. Obrigada por seres como és, difícil mas minha. Obrigada pela força que me deste nesta fase dupla da minha vida. A ti, ou talvez mais à tua existência, portanto, aos pais, devo o “despacho”, a “manha” e a vontade de vencer.

Obrigada Mãe! Por me ter feito uma mulher lutadora pelos meus sonhos, com os pés assentes na terra e, especialmente, por ter sempre acreditado em mim no meu potencial. Isso deu-me força para conseguir chegar até aqui, com alguns altos e baixos, mas sem deixar de acreditar que consigo tudo aquilo que quiser! Adoro-a e quero ser “parecida” consigo quando for grande.

Pai, a si não lhe devo menos. Obrigada por, mais do que ninguém, acreditar em mim e nas minhas capacidades, por me encorajar a querer sempre mais e não me contentar com um “Bom”, quando se pode ter um “Muito Bom”. Sei que o desapontei algumas vezes e sei que o voltarei a fazer porque nem sempre estaremos de acordo mas quero que saiba que isso me custa tanto a mim como a si, e que, apesar de tudo, o seu traço de personalidade é o mais fundo que carrego e que são muitas as vezes que o vejo reflectido em atitudes minhas. Adoro-o assim, tal e qual!

À Nôô, a pessoa mais importante da minha vida, um ser adorável que só me dá alegrias e emoções fortes, para quem quero ser “O Exemplo” certo. O teu nascimento foi sem dúvida um ponto de viragem da minha vida porque me fez mais feliz, mais completa, mais realizada, mais importante, mais flexível, mais simples, mais fácil, para ser honesta, mais tudo. Mais do que um agradecimento devo um pedido de desculpa por cada minuto que passei a escrever esta tese em vez de brincar. “Serás recompensada com uma mãe mais forte, adoro-te!”



## **Resumo**

O objectivo da presente dissertação é dar um contributo para a avaliação da potencialidade da reutilização de águas cinzentas. Pretende-se assim expor os benefícios e potencialidades deste recurso enquadrando-o no panorama actual de escassez de água, tendo em conta a sua envolvente socioeconómica e enquadrando-o numa perspectiva de gestão integrada do ciclo urbano da água.

É feita uma caracterização quantitativa e qualitativa de águas cinzentas e respectivo potencial de reutilização assim como um enquadramento legal da mesma a nível nacional e internacional. Esta tese descreve e avalia os principais constrangimentos biológicos e químicos associados à reutilização deste fluxo – águas cinzentas.

Pretende-se listar, descrever e analisar os vários sistemas de tratamento existentes tendo em conta os aspectos positivos e negativos de cada um, focando características chave como eficiências de tratamento e respectiva viabilidade económica associada à sua adopção.



## **Abstract**

*The purpose of this thesis is to contribute to the evaluation of greywater reuse potential. This work intends to expose the benefits and potentialities of this resource framing it on the actual scenery of water scarcity taking into consideration the socioeconomic aspects and on a water urban cycle integrated management perspective.*

*Qualitative and quantitative greywater characterization are collected and summarized as well as respective potential of reuse and national and international legal framework. This thesis describes and evaluates the main biological and chemical constraints linked to this new flux reuse – greywater.*

*All the treatment systems are listed, described and analyzed accordingly with their advantages and disadvantages, focusing key points, such as, treatment efficiency and adoption economic feasibility.*



## Índice de Texto

1. Introdução.....	1
1.1. Panorama Mundial dos Recursos Hídricos.....	1
1.1.1. O Ciclo Hidrológico.....	1
1.1.2. O Ciclo Urbano da Água .....	3
1.1.3. Gestão da Água .....	3
1.1.4. Disponibilidade Hídrica.....	5
1.2. Estado dos Recursos Hídricos em Portugal .....	9
1.3. Perfil de Consumo de Água .....	10
1.4. Drenagem e Tratamento de Águas Residuais .....	16
1.5. Medidas de Acção para o combate da escassez de água .....	18
2. Águas Cinzentas .....	25
2.1. Definição.....	26
2.2. Caracterização .....	26
2.2.1. Caracterização quantitativa.....	27
2.2.2. Caracterização qualitativa .....	28
2.3. Benefícios e Potencial da Reutilização .....	40
2.4. Enquadramento Normativo .....	45
2.5. Constrangimentos da Reutilização .....	53
2.5.1. Potenciais riscos para a saúde .....	54
2.5.2. Destino e Tratamento de Águas negras .....	55
2.6. Infra-estruturas de drenagem e de distribuição .....	57
3. Sistemas de Tratamento de águas cinzentas .....	59
3.1. Sistemas de reutilização directa .....	60
3.2. Sistemas de Tratamento Físico-químico Básicos .....	61
3.2.1. Sistemas de Filtração.....	61
3.2.2. Sistemas de Filtração com Desinfecção .....	63
3.2.3. Sistemas de Coagulação, Sedimentação e Filtração .....	67
3.2.4. Nanofiltração .....	69
3.2.5. Electrocoagulação.....	71

3.2.6. Resina de Permuta Iônica .....	71
3.3. Sistemas biológicos.....	72
3.3.1. Leitos de Macrófitas .....	72
3.3.2. UASB.....	73
3.4. Sistemas Biomecânicos .....	74
3.4.1. Sistemas Biomecânicos Simples .....	74
3.4.2. Sistemas Biológicos de Membranas .....	76
3.4.3. Sistemas de Discos Biológicos .....	79
3.5. Análise Comparativa .....	80
4. Custo-Benefício .....	83
5. Conclusões.....	85
6. Bibliografia.....	87
Anexos.....	95

## Índice de Figuras

Figura 1.1 - Ciclo Hidrológico .....	2
Figura 1.2 – Ciclo Urbano da Água .....	3
Figura 1.3 - Escassez de água no Mundo em 2025 .....	6
Figura 1.4 – Índice de exploração da água .....	8
Figura 1.5 - Distribuição espacial dos consumos, necessidades de água e retornos .....	10
Figura 1.6 - Volumes de captação de água por sector nas várias regiões .....	12
Figura 1.7 – Distribuição sectorial dos consumos, necessidades de água e retornos .....	12
Figura 1.8 - Estrutura do consumo doméstico em habitações sem espaços exteriores .....	15
Figura 1.9 - Estrutura do consumo doméstico em habitações com espaços exteriores .....	16
Figura 1.10 - Modelo DPSIR aplicado aos recursos hídricos .....	19
Figura 1.11 - Planeamento futuro e implementação de medidas para o controlo da seca e escassez de água .....	22
Figura 2.1 - Fluxos constituintes da água residual .....	27
Figura 2.2 - Contribuição dos vários dispositivos para os parâmetros de águas residuais, em percentagem .....	29
Figura 2.3 - Taxa de decomposição das águas negras .....	33
Figura 2.4 - Taxa de decomposição das águas cinzentas .....	33
Figura 2.5 – Diagrama de ciclo de água fechado aplicado a um edifício .....	42
Figura 2.6 - Produção típica de água cinzenta e consumo nos autoclismos numa faculdade ...	43
Figura 2.7 - Diagramas de sistemas de tratamento de Águas negras .....	56
Figura 3.1 – Esquema da drenagem e distribuição da água cinzenta .....	60
Figura 3.2 - Sistema compacto de lavatório e sanita .....	61
Figura 3.3 - Sistema de tratamento com tempo de retenção reduzido da Ecoplay .....	62
Figura 3.4 - Diagrama Linear do sistema de tratamento adaptado instalado na Mesquita Al- Hail .....	64

Figura 3.5 - Sistema de Tratamento por coagulação, sedimentação e filtração .....	67
Figura 3.6 - Esquema representativo do protótipo do sistema de tratamento com bentonite ....	68
Figura 3.7 - Diagrama linear de um sistema de tratamento de águas cinzentas por nanofiltração .....	69
Figura 3.8 – Diagrama linear de um sistema de tratamento por electrocoagulação .....	71
Figura 3.9 – Espécie de caniço do género Phragmites .....	73
Figura 3.10 – Unidade compacta de tratamento biológico Aquacycle ®900 .....	75
Figura 3.11 – Configuração de sistemas MBR: (a) MBR submerso, (b) MBR externo .....	76
Figura 3.12 - Possível esquema de tratamento de águas cinzentas com reactores biológicos de membranas .....	77
Figura 3.13 – Diagrama linear do sistema de tratamento HUBER GreyUse® .....	78
Figura 3.14 – Possível esquema de tratamento de águas cinzentas com discos biológicos .....	79



## Índice de Tabelas

Tabela 1.1 - Estrutura do consumo doméstico em diversos países (os valores indicados referem-se a percentagens do consumo total).....	14
Tabela 2.1 - Balanço hídrico em edifícios residenciais com dispositivos eficientes (valores médios em litros por habitante e por dia) .....	28
Tabela 2.2 - Caracterização dos diferentes fluxos das águas residuais domésticas .....	29
Tabela 2.3 - Características qualitativas de água cinzenta .....	31
Tabela 2.4 - Grupo de compostos presentes nos produtos químicos encontrados numa casa regular na Dinamarca .....	35
Tabela 2.5 - Caracterização de águas cinzentas.....	37
Tabela 2.6 - Principais componentes da água cinzenta .....	40
Tabela 2.7 - Factura média ponderada dos serviços de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais .....	44
Tabela 2.8 - Critérios de qualidade exigidos para reutilização agrícola .....	47
Tabela 2.9 – Reutilizações de água residual tratada e respectivos critérios de qualidade .....	48
Tabela 2.10 - Requisitos de qualidade para rega de jardins privados.....	51
Tabela 2.11 - Requisitos de qualidade para descarga de autoclismos .....	51
Tabela 2.12 - Lista de Regulamentações/orientações para reutilização de água .....	52
Tabela 2.13 - Composição das águas negras .....	55
Tabela 2.14 - Caracterização físico-química dos efluentes resultantes do tratamento biológico por UASB, MBR aeróbio e MBR anaeróbio.....	56
Tabela 3.1 - Resultados da experiência de tratamento de águas cinzentas através de uma filtração .....	63
Tabela 3.2 - Sumário dos parâmetros de qualidade da água antes e depois do tratamento adaptado dedicados às águas cinzentas da mesquita de Al Hail .....	65
Tabela 3.3 - Eficiências atingidas com o tratamento de águas cinzentas por coagulação, sedimentação e filtração .....	67

Tabela 3.4 - Resultados obtidos no tratamento de água cinzenta sintética por Nanofiltração directa .....	70
Tabela 3.5 - Comparação da eficiência de remoção em leitos com fluxo superficial e fluxo sub-superficial.....	73
Tabela 3.6 – Performance do MBR (Membrane Biological Reactor).....	77
Tabela 3.7 - Resultados da experiência de Friedler com MBR .....	78
Tabela 3.8 – Resultados da experiência de Friedler com discos biológicos .....	80
Tabela 3.9 – Comparação dos principais aspectos positivos e negativos de cada sistema de tratamento testado listado no Capítulo 3.....	81
Tabela 4.1 - Cálculo do custo-benefício de um sistema de reutilização de águas cinzentas para recarga de autoclismos.....	84

## **Símbolos e Abreviaturas**

ANQIP – Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais

CBO – carência bioquímica de oxigénio.

CF – Coliformes fecais

COD – Carbono Orgânico Dissolvido

CQO – carência química de oxigénio.

EEA – European Environment Agency / Agência Europeia do Ambiente

EPA – Environmental Protection Agency

ERSAR – Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos

INSAAR – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de água e de águas residuais.

IWMI – International Water Management Institute

MBR – membrane biological reactor (reactor biológico de membranas)

OD – Oxigénio dissolvido

SST – sólidos suspensos totais.

SSV – sólidos suspensos voláteis.

ST – sólidos totais.

UASB – upflow anaerobic sludge blanket

UF - Ultrafiltração

UV – ultra-violeta

WHO – World Health Organization.



# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Panorama Mundial dos Recursos Hídricos

A Água é um recurso natural importante e uma componente fundamental do ambiente que, como tal, importa proteger, preservar e melhorar. A água é, com efeito, um recurso indispensável à grande maioria das actividades económicas, em particular a Indústria e a Agricultura, com influência decisiva na qualidade de vida das populações, nomeadamente nas áreas do abastecimento de água e da drenagem e tratamento de águas residuais, com forte impacto na saúde pública. O acesso ao fornecimento de água e ao saneamento é uma necessidade fundamental e um direito humano. É vital para a dignidade e saúde de todas as pessoas. (OMS, 2000).

Trata-se de uma substância com características especiais, que a diferenciam dos outros recursos naturais, e que poderão explicar a forma como a sua existência é vista pelo ser humano. Pelo facto de:

- Existir na Natureza em condições tais que permitem o seu consumo imediato;
- Sem ela a vida não ser possível;
- O estado em que habitualmente se encontra na Natureza (líquido) permitir o seu fácil uso e controlo;
- Se inserir num ciclo que permite a sua renovação e que se inicia, para o ser humano, na atmosfera, através da precipitação. (Plano Nacional da Água).

### 1.1.1. Ciclo Hidrológico

Toda a água existente na Terra circula entre a atmosfera, os continentes e os oceanos de forma cíclica, mudando do estado sólido para o estado líquido e deste para o gasoso, voltando novamente ao estado líquido, num movimento perpétuo que alimenta a vida no nosso planeta.

Do total de água na Terra, 97% está concentrada nos oceanos. A restante água (3%) encontra-se dispersa sob diversas formas: congelada, nos rios e nos lagos ou retida no subsolo e na atmosfera. A quantidade de água que se encontra em cada um destes locais mantém-se aproximadamente constante, devido ao ciclo hidrológico ilustrado pela Figura 1.1.

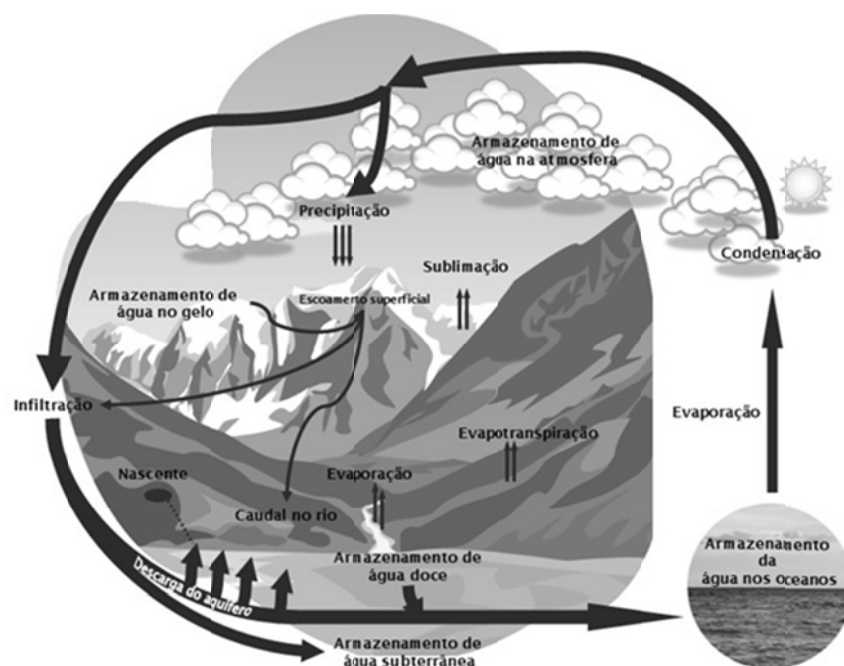


Figura 1.1. – Ciclo Hidrológico (United States Geological Survey, 2010)

O Ciclo Hidrológico pode ser definido como a troca contínua de água na hidrosfera, entre a atmosfera, a água do solo, águas superficiais, subterrâneas e as plantas.

O uso da água pode ser classificado em várias tipologias que se podem agrupar em usos consumptivos e não consumptivos:

Usos consumptivos:

- Usos urbanos – considerando os consumos da população residente e flutuante e das atividades económicas e públicas inseridas na malha urbana;
- Agricultura – considerando as necessidades de rega das culturas, em ano médio, seco e muito seco;
- Pecuária – atendendo aos efetivos das espécies animais;
- Indústria – considerando o numero e escalão de dimensão dos estabelecimentos industriais;
- Turismo – considerando os consumos de água de rega dos campos de golfe e respectivas áreas adjacentes;

Usos não consumptivos:

- Produção de energia
- Usos recreativos
- Aquicultura e pesca

### 1.1.2. Ciclo Urbano da Água

O Ciclo Urbano da Água, ilustrado na Figura 1.2, tem início na captação de água, que pode ser superficial ou subterrânea, respectivo encaminhamento para sistema de tratamento de água que transforma a água bruta captada dos meios aquáticos em água potável. A etapa que se segue é a adução e posterior distribuição desta água aos consumidores que são responsáveis pela sua devolução ao ciclo sob a forma de águas residuais cuja drenagem é efectuada até às Estações de tratamento de águas residuais onde esta é tratada e devolvida aos meios aquáticos que servem de suporte a futuras captações.

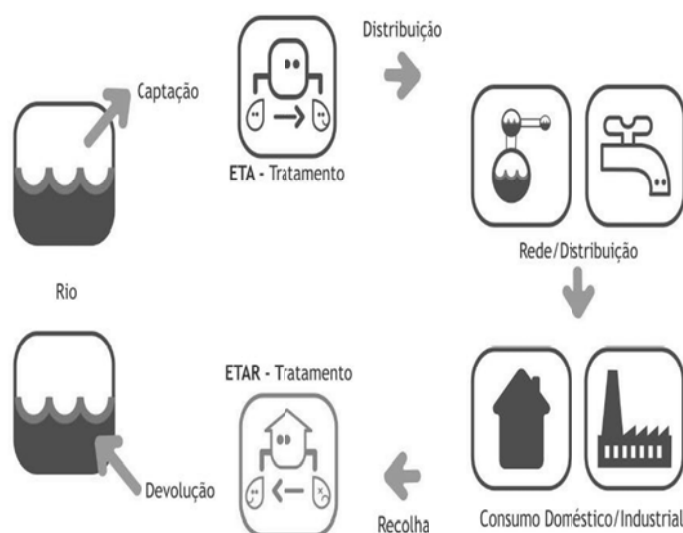


Figura 1.2. – Ciclo Urbano da Água (Águas de Portugal, 2012)

### 1.1.3. Gestão da Água

A água é o principal recurso natural e requer uma gestão integrada que obriga as estruturas governamentais e institucionais a repensar modelos de administração e objectivos.

O planeamento do recurso água visa fundamentar e orientar a protecção e a gestão das águas e promover a compatibilização das suas utilizações de acordo com as suas disponibilidades, de forma a garantir uma utilização sustentável e ainda, definir critérios para os vários tipos de usos

pretendidos, fixando as normas de qualidade ambiental e os critérios relativos ao estado das águas.

De acordo com a Lei da Água (Lei n.º28/2005), a gestão da mesma deve observar os seguintes princípios:

- Princípio do valor social da água, que consagra o seu acesso universal para as necessidades humanas básicas, a custo socialmente aceitável, e sem constituir factor de discriminação ou exclusão.
- Princípio da dimensão ambiental da água, nos termos do qual se reconhece a necessidade de um elevado nível da protecção da água, de modo a garantir a sua utilização sustentável.
- Princípio do valor económico da água, por força da qual se consagra o reconhecimento da escassez actual ou potencial deste recurso e a necessidade de garantir a sua utilização economicamente eficiente, com a recuperação dos custos dos serviços de águas, mesmo em termos ambientais e de recursos, e tendo por base os princípios do poluidor-pagador e do utilizador-pagador.
- Princípio da gestão integrada das águas e dos ecossistemas aquáticos, terrestres associados e zonas húmidas deles directamente dependentes, por força do qual importa desenvolver uma actuação em que se atenda simultaneamente a aspectos quantitativos e qualitativos, condição crítica para a garantia de um desenvolvimento sustentável.
- Princípio da precaução, nos termos do qual, as medidas destinadas a evitar o impacto negativo de uma acção sobre o ambiente devem ser adoptadas, mesmo na ausência de certeza científica da existência de uma relação causa-efeito entre eles.
- Princípio da prevenção, por força do qual as acções com efeitos negativos no ambiente devem ser consideradas de forma antecipada de forma a eliminar as próprias causas de alteração do ambiente ou reduzir os seus impactes quando tal não seja possível.
- Princípio da correcção, prioritariamente na fonte, dos danos causados ao ambiente e da imposição ao emissor poluente de medidas de correcção e recuperação e respectivos custos.
- Princípio da cooperação, que assenta no reconhecimento de que a protecção das águas constitui atribuição do Estado e dever dos particulares.
- Princípio do Uso razoável e equitativo das bacias hidrográficas partilhadas, que reconhece aos estados ribeirinhos o direito e a obrigação de utilizarem o curso de água de forma razoável e equitativa tendo em vista o aproveitamento optimizado e sustentável dos recursos, consistente com a sua protecção.

A aplicação da Lei da Água em Portugal representa um enorme avanço na protecção das águas de superfície e subterrâneas.



#### 1.1.4. Disponibilidade Hídrica

A água, fonte de toda a vida, está actualmente no centro de uma crise sem precedentes que tem por principais factores o aumento da população, a poluição, a insuficiente gestão dos recursos hídricos, alterações climáticas, entre outros factores.

A principal conclusão de todas as análises efectuadas sob o tema da escassez de água a nível global indica que uma grande parte da população mundial – até dois terços – será afectada pela escassez hídrica nas próximas décadas (Rijsberman, 2006).

A disponibilidade hídrica é a diferença entre a precipitação e a evapotranspiração real, que constitui o volume disponível para escoamento superficial imediato à precipitação e para recarga de aquíferos.

A Figura 1.3 mostra o resultado de um estudo do *International Water Management Institute*, que se focou na oferta e procura de água em 118 países do Mundo, no qual se conclui que, em 2025, 1.8 biliões de pessoas viverão em países ou regiões com absoluta escassez de água, e que actualmente a maioria dos países do Médio Oriente e Norte de África podem ser classificados como países com escassez absoluta de água. A estes países juntar-se-ão o Paquistão, a África do Sul e grande parte da Índia e China. Isto significa que não terão os recursos hídricos suficientes para manter o seu nível actual de produção agrícola irrigada *per capita* nem para dar resposta às necessidades de água para usos domésticos, industriais e ambientais. Para suportar estas necessidades, a água terá de ser transferida da agricultura para outros sectores, provocando uma maior dependência destes países da importação de alimentos.

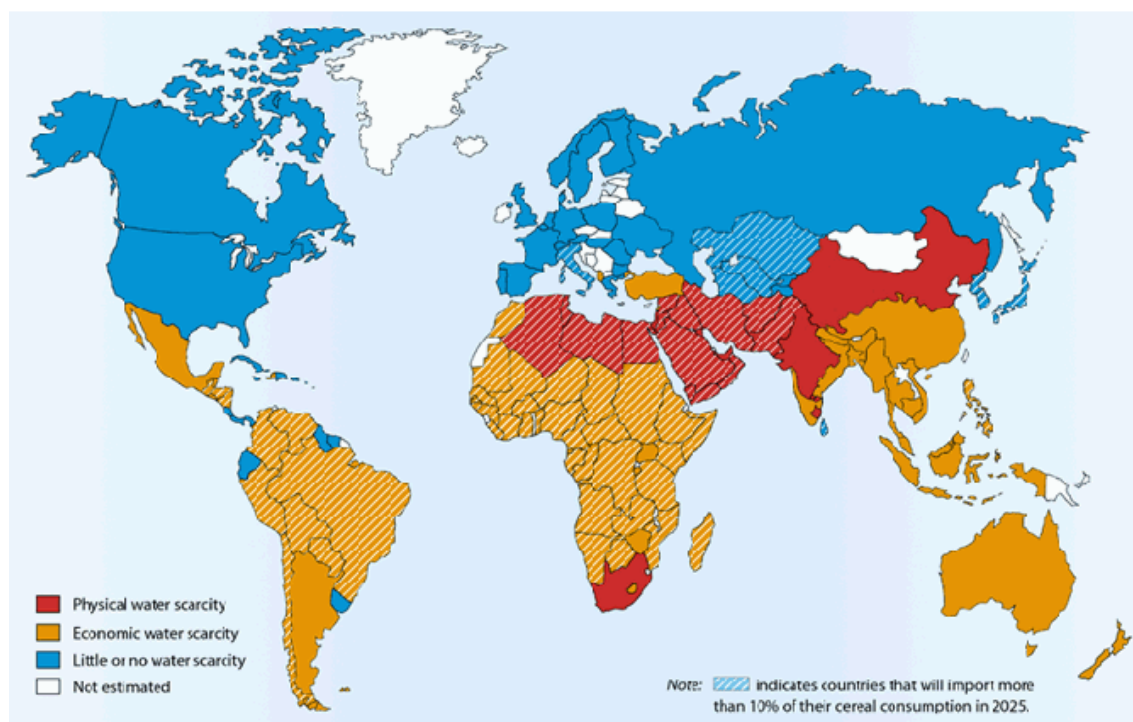


Figura 1.3. – Escassez de água no Mundo em 2025 (Global Water Scarcity Study, IWMI 2000).

O mapa representativo da escassez de água no mundo da IWMI (Figura 1.3 é baseado num cenário dominado pela capacidade de produção de alimentos de acordo com as necessidades das gerações futuras assim como pela redução da subnutrição no mundo, tendo em conta o uso da água o mais eficiente possível.

A consequência da escassez de água para a gestão da mesma não é apenas um problema quantitativo, é também um problema qualitativo. Qualquer avaliação de disponibilidade e, portanto, de sustentabilidade de utilização dos recursos hídricos, deve considerar não só o volume, como também a qualidade. Uma qualidade deficiente reduzirá a disponibilidade aparente dos recursos hídricos (AEA, 2000).

A escassez e a qualidade da água reflectem-se não só na perda de qualidade de vida, saúde, como nos preços que chegam ao comum consumidor sendo que a disparidade nos preços praticados pelas entidades gestoras é pelas mesmas, deste modo, justificada.

O volume de água disponível em qualquer país depende da precipitação no próprio país, bem como dos escoamentos provenientes e na direcção dos países vizinhos, e não só. A disponibilidade deste recurso apresenta variações sazonais, anuais e através de longos períodos de tempo (em função das alterações climáticas), assim como variações entre países ou entre regiões do mesmo país.

O impacto das alterações climáticas no panorama dos recursos hídricos europeus é crítico para a vida da população e para a economia. Mesmo que as emissões de gases de estufa já estivessem estabilizadas, os aumentos da temperatura e os impactos associados, incluindo a disponibilidade/escassez de água e as cheias, continuarão durante décadas. Os países estão cientes destes impactos e já começaram a adaptar-se, mas ainda há muito a fazer (EEA, 2007).

O facto é que a Água sempre foi um recurso facilmente acessível e absolutamente necessário à maioria da população, apesar de ainda existirem 1.1 biliões de pessoas (WHO, 2000) no mundo sem acesso a água potável.

Os cidadãos Europeus não sofrem da escassez devastadora de água e da pobre qualidade da mesma vivenciada noutras regiões do Mundo. Em termos gerais, a água é relativamente abundante na Europa, com recursos de água doce de aproximadamente 2 270 Km<sup>3</sup>/ano. Apenas 13% deste recurso é captado para posterior utilização (EEA, 2009).

No entanto, o balanço entre a necessidade de água e a disponibilidade da mesma chegou a um ponto crítico em várias áreas do continente Europeu, como resultado da sobre exploração dos recursos e dos prolongados períodos de seca e baixa pluviosidade. Estão documentadas e analisadas situações como a redução dos caudais dos rios, níveis baixos de barragens e sobre exploração de aquíferos, em paralelo com os respectivos efeitos nos ecossistemas aquáticos.

O índice de exploração dos recursos hídricos é definido como a captação média anual total de água doce, dividida pelos recursos renováveis médios anuais de água doce a nível do país e é expresso em termos percentuais e calculado anualmente. Valores superiores a 20% indicam stress hídrico e acima de 40% stress hídrico severo. Esta análise pode ser feita ao nível nacional ou por bacia hidrográfica, sendo que para a primeira abordagem se destacam o Chipre (45%), a Bulgária (38%) e Itália e Espanha (EEA, 2009).

As bacias mais afectadas são a Andalusia em Espanha e o Sado em Portugal com índices de exploração dos recursos hídricos de 160% e 135%.

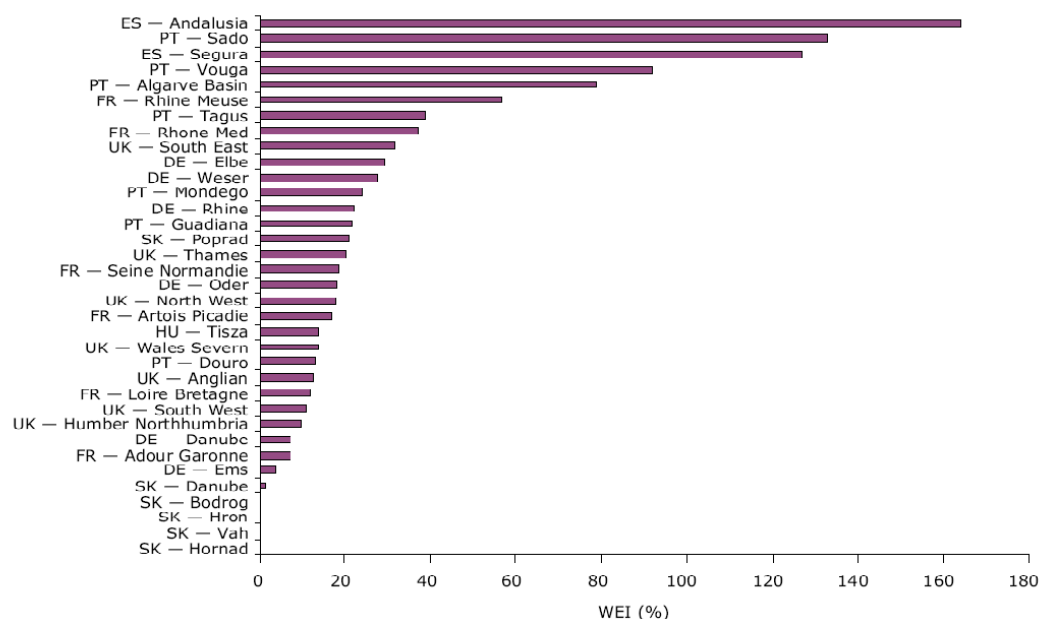


Figura 1.4 – Índice de exploração da água. (Adaptado de EEA, 2009)

No decurso de um ano normal, cada cidadão europeu tem à sua disposição um volume máximo de 3200 m<sup>3</sup> de água, dos quais apenas 660 m<sup>3</sup> são captados (Nixon *et al.*, 2000). Embora seja utilizado apenas um quinto dos recursos hídricos disponíveis, a água não se encontra equitativamente distribuída e parte dela é necessária à manutenção da vida aquática, o que reduz o real volume de água à disposição da humanidade.

Existe, portanto, um potencial conflito entre a procura de água pelo homem e exigências ecológicas mais amplas. Como a humanidade depende do permanente funcionamento do ecossistema global, o conflito poderá ser considerado ilusório, mas as comunidades com recursos hídricos limitados estão, indubitavelmente, mais preocupadas com as suas necessidades imediatas de abastecimento de água do que com as necessidades mais vastas dos ecossistemas (Nixon *et al.*, 2000). A Organização das Nações Unidas (ONU) admite que dentro de 20 anos metade da população mundial não terá acesso a água potável de qualidade satisfatória. O crescimento da população global no período 1990-2000 está estimado em 15% (de 5.27 para 6.06 biliões), sendo que a população global urbana cresceu 25%, enquanto que a população rural cresceu 8% (OMS, 2000). Se este cenário se mantiver, são os centros urbanos, onde a procura de água é maior, a sofrer de maior crescimento populacional e consequentes dificuldades na gestão da água.

## **1.2. Estados dos Recursos Hídricos em Portugal**

A riqueza hídrica de Portugal é aparente, visto que, apesar de muitas vezes as disponibilidades anuais médias excederem substancialmente as necessidades de água, existem situações de escassez hídrica de carácter localizado que ocorrem ciclicamente nos períodos secos. Isto deve-se ao facto de a variabilidade de água em Portugal continental ser extremamente elevada, quer em termos anuais quer em termos sazonais, o que dá origem a períodos mais ou menos prolongados em que a precipitação é significativamente inferior à média (PNA, 2002).

A sul do Tejo a situação dos recursos hídricos é bastante diferente das zonas a norte do Tejo, com várias zonas em situação de escassez de água: áreas das cabeceiras do Sado, Mira, Caia e ribeiras do Algarve. O principal motivo destas situações é a necessidade de satisfazer consumos agrícolas significativos.

Os consumos médios totais actuais atingem os 8.750 hm<sup>3</sup>/ano e as necessidades actuais são de 11.000 hm<sup>3</sup>/ano no Continente e de 8.820 hm<sup>3</sup>/ano e 11.100 hm<sup>3</sup>/ano, respectivamente, em todo o território nacional (PNA, 2002).

Actualmente no continente, dos consumos, retornam em média aos meios hídricos 2970 hm<sup>3</sup>/ano.

Em Portugal, de acordo com o Relatório do Estado do Abastecimento de Água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais – Campanha INSAAR 2010, o índice de abastecimento estimado para o continente é de 97%, 98% para os Açores e 100% para a Madeira. Em Portugal, como em várias regiões do mundo, o crescimento populacional, juntamente com a crescente urbanização e, muitas vezes, o aumento paralelo da captação de água, resulta no crescimento contínuo da procura urbana de água.

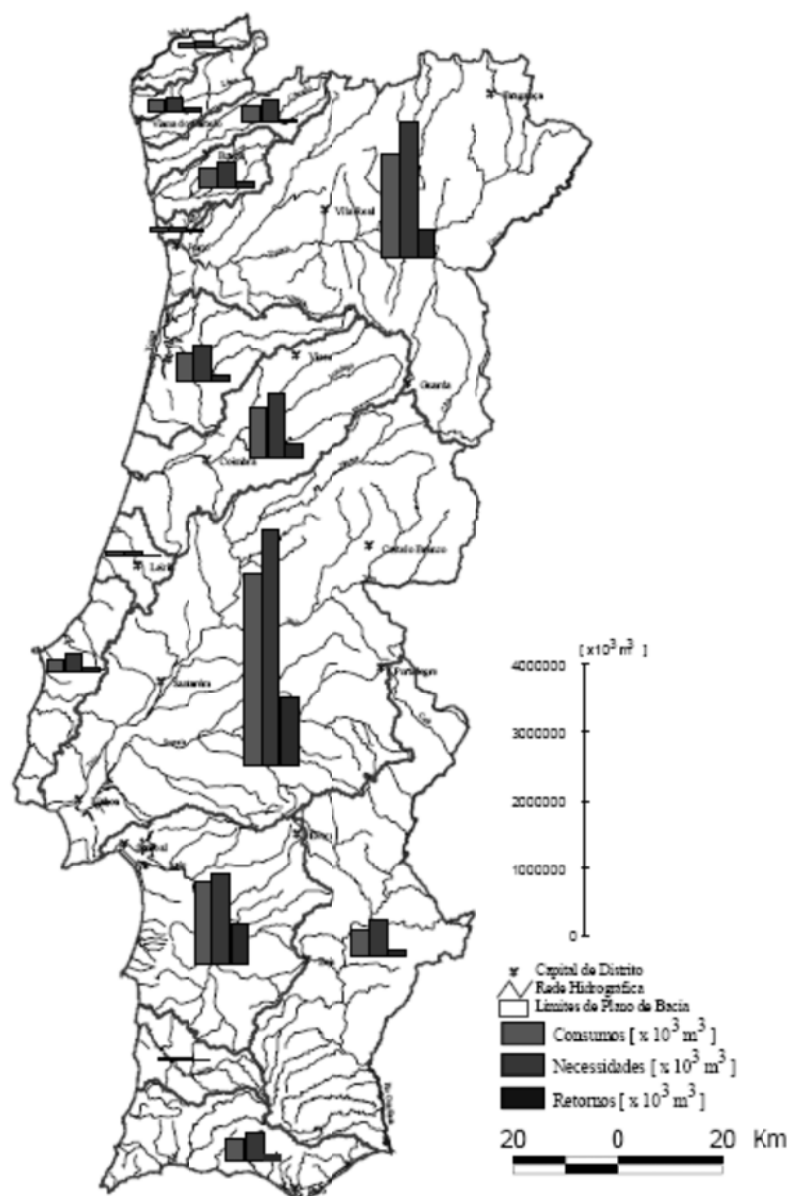


Figura 1.5 – Distribuição espacial dos consumos, necessidades de água e retornos (PNA, 2002).

Os consumos representados na Figura 1.5 referem-se aos volumes que efectivamente são retirados ao meio ambiente para utilização nas actividades humanas e que geram retornos. Os maiores valores de consumos verificam-se nas bacias hidrográficas de maiores áreas, o Tejo e o Douro.

### 1.3. Perfil de Consumo de Água

Para poder estabelecer medidas de acção e políticas de utilização da água é de extrema importância o aprofundamento do conhecimento sobre os usos, consumos e necessidades de água.

A água é usada pelo Homem de forma intensa em todas as suas actividades que podem ser agrupadas em:

- Abastecimento doméstico e público;
- Abastecimento industrial;
- Abastecimento agrícola (rega e pecuária);
- Produção de energia;

O consumo do sector agrícola de 6560 hm<sup>3</sup>/ano para rega representa 74% do consumo total nacional, dos quais retornam aos meios hídricos 1.320 hm<sup>3</sup>/ano ou seja- 44% do retorno nacional (PNA, 2002).

O consumo para abastecimento às populações não chega aos 7% do consumo nacional embora o retorno deste tenha um peso de 18% do retorno total nacional.

O tipo de aplicação da água tem um impacto directo nos caudais de retorno. Por exemplo, enquanto aproximadamente 100% do caudal de água usado para arrefecimento na produção energética é devolvido ao meio aquático, do volume de água para o desenvolvimento de uma cultura e evaporado apenas 30% é devolvido ao meio (EEA, 2009).

Segundo o relatório de avaliação ambiental nº. 2 de 2009, a utilização da água captada na Europa reparte-se do seguinte modo:

- 18% no abastecimento público de água;
- 30% na agricultura (irrigação);
- 14% na indústria;
- 38% no sector da energia.

A repartição da fonte de captação desse volume é bastante desequilibrado para a Europa sendo que 81% do volume total de água captado corresponde a captações superficiais que facilita a captação de volumes elevados a custos relativamente baixos (EEA, 2009).

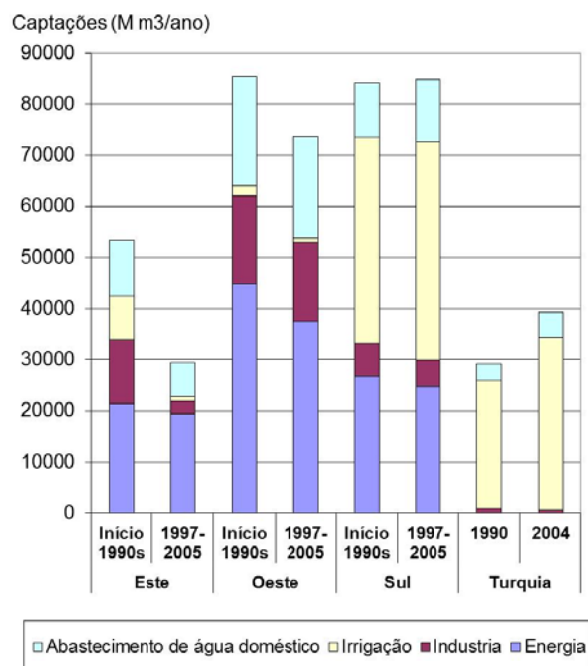


Figura 1.6 – Volumes de captação de água por sector nas várias regiões (AEA,2009).

A Figura 1.7. reforça o facto de que o sector energético tem o principal impacto no consumo de água na Europa se bem que também confirma que nos países do sul da Europa predomina o volume captado para o sector agrícola, facto que pode ser reiterado pelos dados apresentados no Plano Nacional da Água em 2002 representado pela Figura 1.7.

No caso particular de Portugal há um predomínio evidente da utilização de água no sector agrícola, sendo que a refrigeração (sector energético) utiliza uma fatia substancial dos recursos captados.

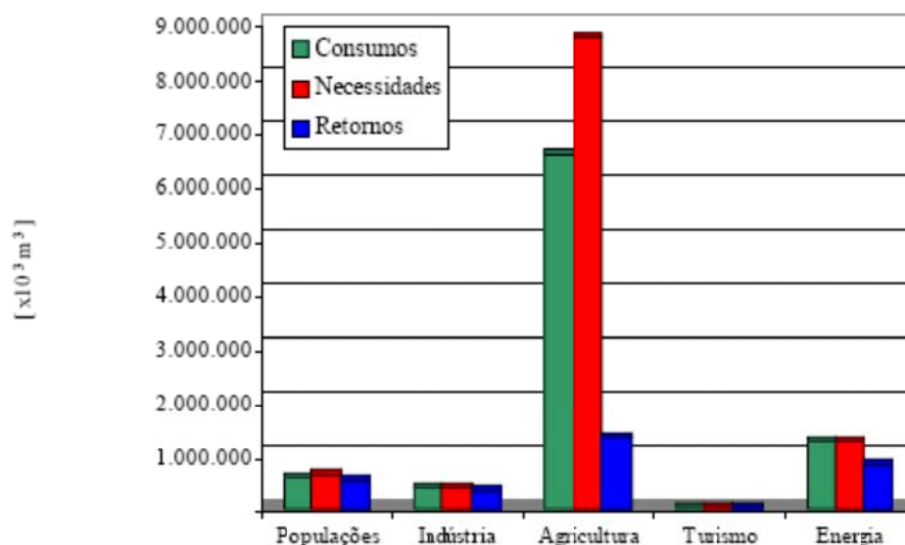


Figura 1.7 – Distribuição sectorial dos consumos, necessidades de água e retornos (PNA, 2002).



O consumo doméstico entende-se como o associado aos usos da água efectuados no interior e na envolvente das habitações pelos seus ocupantes. Os consumos interiores, tendencialmente proporcionais ao número de elementos do agregado, incluem a água utilizada para beber, na preparação de alimentos, na higiene pessoal (banhos, duches, lavagens de mãos, lavagem de dentes, etc.), nos autoclismos, na limpeza da habitação e nas lavagens de roupa e de louça. Os consumos exteriores incluem a rega das plantas, em vasos, jardins, quintais ou hortas, a rega de áreas relvadas, a lavagem de viaturas, a lavagem de pátios e o enchimento de piscinas. Ao contrário dos usos interiores, a componente exterior do consumo doméstico apresenta uma grande variação em termos percentuais, dependendo de forma acentuada da tipologia da habitação, da região em que se localiza, do clima e da estação do ano. Estes consumos são, em geral, superiores nos meses quentes, ou seja, em períodos em que as disponibilidades de água estão potencialmente mais reduzidas. Na Tabela 1.1. pode observar-se uma compilação da repartição do consumo doméstico em diversos países.

Tabela 1.1 – Estrutura do consumo doméstico em diversos países (os valores indicados referem-se a percentagens do consumo total). (Vieira *et al.*, 2002)

	Alemanha <sup>a</sup>	Suécia <sup>b</sup>	Suíça <sup>c</sup>	UK <sup>d</sup>	UK <sup>e</sup>	UK <sup>f</sup>	UK <sup>g</sup>	EUA <sup>h</sup>	EUA <sup>i</sup>	EUA <sup>j</sup>	México <sup>k</sup>	Colômbia <sup>l</sup>	Brasil <sup>m</sup>	Austrália <sup>n</sup>
<b>Usos Interiores</b>														
<b>Higiene Pessoal</b>														
■ Banho de imersão	36	19	37	16	15	13			2					3
■ Banho de chuveiro				12	2	4	37	25	17	30	30	30	55	20
■ Outra				13		9							9	3
Autoclismos	24	27	40	31	31	33	37	35	27	40	35	40	5	20
Lavagem de roupa														
■ máquina	12	-	4	16	8	21	11	10	22	15	-	-	-	12
■ manual					3									4
Lavagem de Louça														
■ máquina	6	-	-	-	0.3	1	11	-	1	-	-	10	11	4
■ manual													3	
Ingestão (Beber e cozinhar)	4	-	11	13	-	16	4	15	-	10	-	5	18	-
Higiene da habitação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	-	-
Torneiras	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	-	-	-	-
Perdas	-	-	-	-	-	-	-	-	14	5	-	-	-	-
Outros	9	-	-	-	37	-	-	-	2	-	-	-	-	-
<b>Usos exteriores</b>														
Lavagem de pátios		-	3	-	-			-	-	-	-	-	-	-
Lavagem de viaturas														
■ mangueira	6	-	1	-	0.05	3		5	-	-	-	-	-	-
■ balde					0.3									
Rega														
■ jardim		-	3	-	3.9			-	-	-	-	-	-	34
■ relva					0.3									
<b>Capitação total (L/hab.dia)</b>	130	-	-	102	99	145	-	120-200	260	-	-	-	269	-

<sup>a</sup> – BUCKER e ZIMMER, 1999.

<sup>h</sup> – GRAY, 1999.

<sup>b</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>i</sup> – AWWA, 1999.

<sup>c</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>j</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>d</sup> – ALMEIDA e BUTLER, 1999.

<sup>k</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>e</sup> – ANDRÉ e PELIN, 1999.

<sup>l</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>f</sup> – MARTIN *et al.*, 1994.

<sup>m</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>g</sup> – SAPESP, 2000.

<sup>n</sup> – WSAA, 1998.

Tal como foi referido anteriormente este tipo de análise é sempre subjectivo uma vez que os valores dependem de uma enorme quantidade de funções. Assim, o indicam os valores referidos na Tabela 1.1. Os valores de capitação média variam entre 99 e 269 l/hab/dia sendo o mais elevado verificado no Brasil e o mais reduzido no Reino Unido, que se assemelha ao indicado para a Alemanha, 100 l/hab/dia (Khoury-Nolde, 2005). No entanto, há valores que estão mais independentes de factores como o clima, os hábitos culturais ou de higiene. Os valores de capitação para descarga de autoclismos, por exemplo, não apresentam grandes flutuações, rondando os 30-35 l/hab/dia.

Em Portugal, o consumo actual de água no abastecimento às populações é de  $560 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$ , sendo que a população não abastecida por sistema público em Portugal atinge os 15%, ou seja, cerca de 1,5 milhões de habitantes. Aplicando a esses potenciais consumidores a taxa de atendimento de 95% e as capitações concelhias actualmente avaliadas, conclui-se que ainda é necessário produzir  $63 \times 10^6 \text{ m}^3$  de água por ano com qualidade exigida por lei. O consumo no sector agrícola de  $6560 \times 10^6 \text{ m}^3/\text{ano}$  na rega representa 74% do consumo total nacional (Chin. *et al.*, 2005).

No estudo efectuado por Vieira *et al.* (2002), cujos resultados podem ser observados nas figuras seguintes, a capitação doméstica média varia entre 50 e 214 litros/hab.dia, com um valor médio de 132 litros/hab.dia.



Figura 1.8 – Estrutura do consumo doméstico em habitações sem espaços exteriores. (Vieira *et al.* 2002)

Quando se trata de habitações com espaços exteriores, como se pode observar na Figura 1.9, a desagregação dos consumos de água apresenta algumas diferenças que se traduzem, essencialmente, no predomínio da componente correspondente às torneiras exteriores.

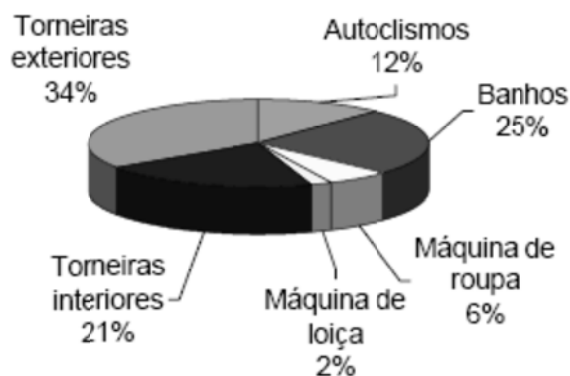


Figura 1.9 – Estrutura do consumo doméstico em habitações com espaços exteriores. (Vieira *et al.*2002)

#### 1.4. Drenagem e Tratamento de Águas Residuais

Com o início do saneamento “moderno” surgiu o problema do tratamento e destino final a dar às águas residuais, associadas a situações de poluição da água. Foi então adoptada a opção mais simples, rápida e económica, que se resume ao lançamento directo dos mesmos nos meios hídricos superficiais com elevado caudal resultando numa diluição dos referidos efluentes. Desde logo se verificou que esta opção não era a adequada devido ao depósito de lamas e maus cheiros junto ao ponto de descarga. A cólera, a febre tifóide, a disenteria e a hepatite infecciosa podem ser disseminadas por veiculação hídrica (Imhoff e Imhoff, 1986). Uma outra opção de baixo custo, com vista a poupar os recursos hídricos, foi a irrigação como destino final dos efluentes drenados pela rede o que originou alguns casos de transmissão de doenças contagiosas, levando a preocupação com o tratamento a ser objectivada do ponto de vista da saúde pública. Surge então a necessidade de se criar uma infra-estrutura para tratar as águas residuais com condições de salubridade, segurança e assegurando a protecção ambiental. De acordo com Imhoff e Imhoff (1986), o grau de tratamento necessário a dar às águas residuais depende das especificações de qualidade atribuídas ao curso de água receptor.

Na União Europeia, as águas residuais urbanas (ARU) são definidas na Directiva 91/271/CEE do Conselho, de 21 de Maio de 1991, relativa ao tratamento de águas residuais urbanas, como as águas residuais domésticas ou a mistura de águas residuais domésticas com águas industriais e/ou águas de escoamento pluvial. Estas águas constituem a segunda parte do ciclo urbano da água – a rejeição das águas após o seu uso (Figura 1.3).

O actual sistema de tratamento de águas residuais, designado como “Mix-Firstand-Separate-Later” por Günther (2000), pode ser descrito da seguinte forma:

- Água limpa é misturada com urina e fezes resultando numa mistura poluída de agentes patogénicos e nutrientes.
- À mistura anterior é adicionada água quase limpa proveniente de actividades domésticas, com qualidade inferior à água de abastecimento e superior à da mistura, originando as designadas águas residuais.
- Dá-se ainda um consumo de água resultante do transporte da mistura anterior na rede de drenagem, maioritariamente extensiva.
- A mistura –águas residuais - é tratada com o objectivo de atingir uma qualidade igual ou superior à água que foi captada na origem.

A água residual doméstica tratada constitui uma fonte de água relativamente independente de períodos de seca. No entanto, até à data, a Europa ainda não investiu no re-uso da água residual, sendo que o volume total de água residual reutilizada (964 Mm<sup>3</sup>/ano) representa apenas 2,4 % do efluente tratado. Espanha tem o maior contributo, 347 Mm<sup>3</sup>/ano e Itália reutiliza 233 Mm<sup>3</sup>/ano. Em ambos os países a água residual tratada é maioritariamente usada na agricultura, sendo que na Europa 75% do volume tem esse mesmo fim (Mediterranean EUWI Wastewater Reuse Working Group, 2007).

De acordo com a Directiva 91/271/CEE, as águas residuais tratadas devem ser reutilizadas sempre que adequado. As vias de eliminação devem minimizar os efeitos nocivos sobre o ambiente. Apesar de a expressão “sempre que apropriado”, repetida em tantos outros diplomas de temática semelhante, não venha explicitamente definido, subentende-se que a reutilização da água residual tratada é vista como uma componente estratégica para a preservação dos recursos hídricos.

A reutilização de água residual pode ser indirecta ou directa. Considera-se como indirecta a reutilização de água residual que após descarregada num meio aquático se dilui com a água do meio, e se separa do ponto de descarga temporal ou espacialmente, e é depois captada, para ser reutilizada. A reutilização directa implica que a água residual seja captada directamente para a aplicação de reutilização.

A reutilização directa de águas residuais tratadas inclui as seguintes aplicações:

- Água de rega;
- Águas de processo e de arrefecimento em Industrias;

- Redes de abastecimento duplas para aplicações sem necessidade de água potável, tais como, rega de jardins e recarga de autoclismos.
- Combate de incêndios, lavagem de ruas e produção de neve.
- Corpos de água recreacionais;
- Recarga de aquíferos;

(Mediterranean Wastewater Reuse Working Group, 2007)

### **1.5. Medidas de Acção para o combate à escassez de água**

Actualmente, muitas áreas urbanas e até regiões anteriormente caracterizadas pela abundância em água, sofrem de escassez de água. Isto faz com que, para garantir um equilíbrio entre a procura e a disponibilidade, seja necessário o desenvolvimento de recursos adicionais, tais como: a exploração de massas de água superficial mais distantes, exploração mais profunda das reservas de água subterrânea, construção de novas barragens, sistemas de distribuição mais longos e, até, dessalinização de água marinha. Para evitar ter que adoptar estas medidas, de elevados custos directos e indirectos e impactes ambientais, tal acréscimo pode ser alcançado através de inúmeras medidas e possíveis combinações das mesmas, como:

- Aumento da eficiência dos sistemas de distribuição de água através da redução de perdas por fugas.
- Instalação de electrodomésticos e equipamentos mais eficientes no uso da água.
- Consciencialização da população para a necessidade de “poupar água”.
- Reutilização de águas residuais como recurso alternativo.
- Reutilização de águas cinzentas como novo recurso alternativo.
- Aproveitamento da água das chuvas como recurso alternativo.
- Gestão de tarifas.

Para garantir uma gestão sustentável da água é crucial seguir em direcção ao objectivo do uso eficiente e apropriado da mesma. O Relatório de Avaliação Ambiental 7 da Agência Europeia do Ambiente (AEA) refere como fontes de água alternativas e não convencionais, a dessalinização da água do mar e a reutilização das águas residuais. Estas fontes alternativas complementam os recursos hídricos em determinadas regiões do Sul da Europa, onde estes são escassos. A Figura 1.10 é referente à aplicação do modelo DPSIR ao aumento da procura de água.

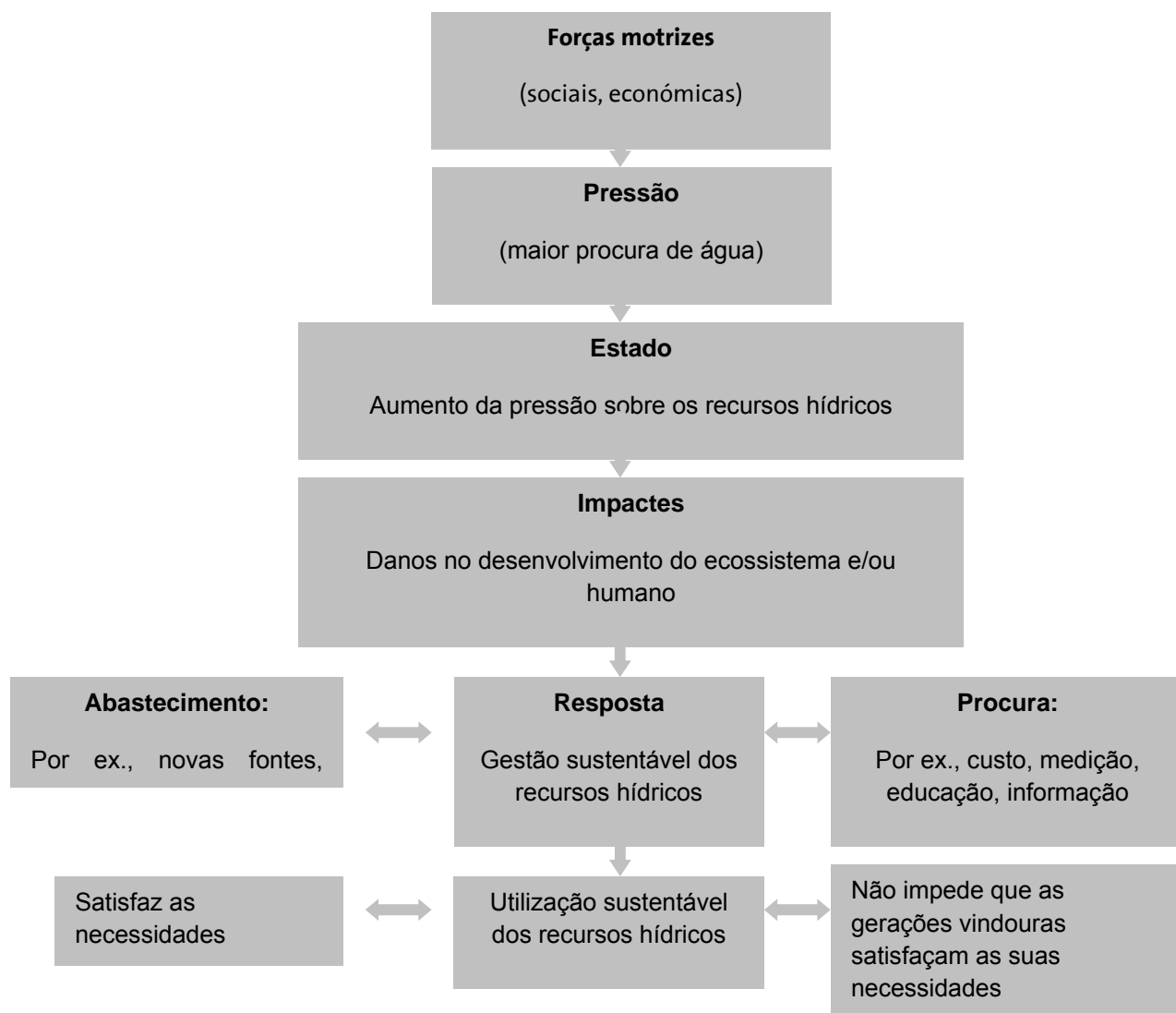


Figura 1.10 - Modelo DPSIR aplicado aos recursos hídricos (AEA, 2000)

O Plano Estratégico de Abastecimento de Água e Saneamento de Águas Residuais para o período 2007-2013 (PEAASAR II) assume-se como um plano estratégico social, ao apostar na universalidade de um serviço de elevada qualidade, numa perspectiva de solidariedade nacional e regional, valorizando a vertente social e de saúde pública; sustentável, porque aponta no sentido da eficiência da gestão e da operação e no sentido do equilíbrio económico e financeiro, valorizando a vertente de auto sustentabilidade; e seguro, na medida em que prossegue níveis elevados de qualidade na protecção do ambiente, valorizando a vertente ambiental. Aponta como acção coerente, com as grandes linhas de orientação estratégica para o País, a investigação e desenvolvimento no quadro dos objectivos da estratégia de Lisboa, que engloba a coordenação

de prioridades para investigação e desenvolvimento com as necessidades que se podem desde já antecipar. Este documento distingue duas situações: as situações que tendo algum carácter inédito não exigem soluções com abordagens inovadoras (é uma questão de adaptação do que já foi desenvolvido), e as situações que exigem, claramente, abordagens inovadoras, as quais são apontadas como aquelas que configuram de forma mais correcta as necessidades de investigação e desenvolvimento. Podem identificar-se dois níveis de situações do segundo tipo: as que correspondem às necessidades colocadas em termos comunitários, enquadradas pelo 7º Programas Quadro de Investigação e Desenvolvimento para 2007-2013, e as que correspondem às especificidades nacionais, enquadradas no âmbito das seguintes medidas, tendo como preocupação constante a maximização do contributo para os objectivos de desenvolvimento sustentável:

- Análise das consequências das alterações climáticas para o sector (*stress* hídrico, ocorrência de tempestades e outros fenómenos extremos, etc.) e definição de medidas mitigadoras;
- Estudo de novas abordagens de gestão integrada de recursos hídricos, nomeadamente considerando para efeitos do balanço entre necessidades e disponibilidades, as águas residuais tratadas e o uso eficiente da água;
- Desenvolvimento de metodologias de incremento dos níveis de qualidade e de segurança dos sistemas e dos recursos, por exemplo, com base na monitorização, utilizando as novas tecnologias de informação e de detecção remota;
- Estudo de sistemas inovadores em termos de gestão patrimonial de infra-estruturas, nomeadamente tendo em vista o prolongamento da sua vida útil, a melhoria dos respectivos desempenhos e a gestão dos custos baseada em análise do ciclo de vida das componentes;
- Aplicação coordenada das novas tecnologias de informação e comunicação, da utilização de modelos matemáticos e dos princípios e métodos da gestão de sistemas de água e de águas residuais, no sentido da optimização global dos custos, nomeadamente em termos energéticos.

Um dos vectores segundo o qual serão desenvolvidas as boas práticas ambientais para a gestão integrada dos recursos hídricos é a consideração, para efeitos do balanço e disponibilidades e necessidades hídricas, de águas com menor qualidade (por exemplo, águas residuais tratadas ou origens alternativas), ficando no entanto a respectiva utilização limitada aos usos compatíveis com essa qualidade e à correspondente viabilidade económica e financeira (PEAASAR II).

A eficácia ambiental da aplicação de inúmeras medidas, como o planeamento, o princípio do utilizador-pagador, a mobilização de todas as fontes viáveis da necessária educação para a mudança, etc., será reduzida se não se actuar no âmbito do próprio uso que se faz da água. O PEAASAR II inúmera quatro razões que sustentam a opção estratégica do uso eficiente da água:



- Imperativo ambiental, pela necessidade de uma crescente consciencialização da sociedade de que os recursos hídricos não são ilimitados e que portanto é necessário protegê-los e conservá-los;
- Optimização da gestão das disponibilidades e reservas de água;
- Eficiência económica, na medida em que as poupanças potenciais de água correspondem a um valor muito relevante, estimado em cerca de 0,64% do Produto Interno Bruto nacional;
- Racionalidade da gestão a nível das entidades gestoras, através de um maior rigor na hierarquização de prioridades de investimentos (p. ex., melhor aproveitamento das infra-estruturas existentes, minimizando ou mesmo evitando em alguns casos a respectiva necessidade de ampliação e expansão).

O Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água de 2012 (PNUEA), posterior ao PEAASAR II, prevê a aplicação de um conjunto de 87 medidas tendentes à melhoria da eficiência de utilização da água em Portugal, minimizando os riscos de rotura decorrentes da carência de água, em situação hídrica normal, potenciadas durante períodos de seca. Destas, destacam-se:

- A aplicação de sistemas de eficiência hídrica na Agricultura para reduzir o desperdício de água consumido neste sector ao nível de: redução de perdas no armazenamento, transporte e distribuição de água e, ainda, na adequação dos volumes de rega às necessidades hídricas das culturas. Como medida de acção de sensibilização remete para o cálculo da pegada hídrica nos sectores agrícolas com maiores consumos de água. Com vista à protecção da qualidade dos recursos hídricos deverão ser implementadas boas práticas agrícolas com o objectivo de reduzir a utilização de fármacos e fertilizantes.
- Adopção de medidas de eficiência hídrica tanto ao nível da rede de distribuição como nos edifícios com o objectivo de reduzir o desperdício de água. Na rede de distribuição, a redução de perdas consegue-se através da substituição das tubagens e do isolamento da rede de distribuição de águas quentes sanitárias. A redução de consumo nos edifícios passa pela substituição de equipamentos mais eficientes, instalação de sistemas de aproveitamento e reutilização de águas da chuva e águas tratadas, implementação de sistema de medição de eficiência hídrica semelhante ao, já implementadas, para eficiência energética, assim como, a implementação de processos de certificação.
- Meta de 20% de redução de perdas nas redes de abastecimento público para as entidades gestoras públicas e privadas.
- A certificação hídrica de todos os edifícios e equipamentos do Estado e Administração Local na implementação do cálculo da pegada hídrica municipal e a redução do volume de água consumido na rega de jardins e espaços verdes são as principais medidas para um uso mais eficiente da água ao nível da Administração central e local e Espaços públicos.
- As medidas de eficiência hídrica para reduzir o desperdício de água consumido no sector industrial passam por estimular a adopção de tecnologias e procedimentos de racionalização

da água em processos de fabrico industrial, a utilização de equipamentos e dispositivos mais eficientes e, uma vez mais, a adopção de sistemas de reutilização/recirculação de água.

Segundo a EEA (2007), opinião recolhida através da realização de questionários, os países da União Europeia estão cientes dos impactos fortemente negativos do decréscimo de precipitação, provocado pelas alterações climáticas, nos recursos hídricos. As medidas ou acções possíveis, compiladas na Figura 1.11, dividem-se em seis categorias: medidas técnicas para aumentar a produção/fornecimento de água, aumentar a eficiência do recurso, utilizar instrumentos económicos, restringir o uso da água, planeamento espacial, previsão e monitorização e esquemas de segurança.

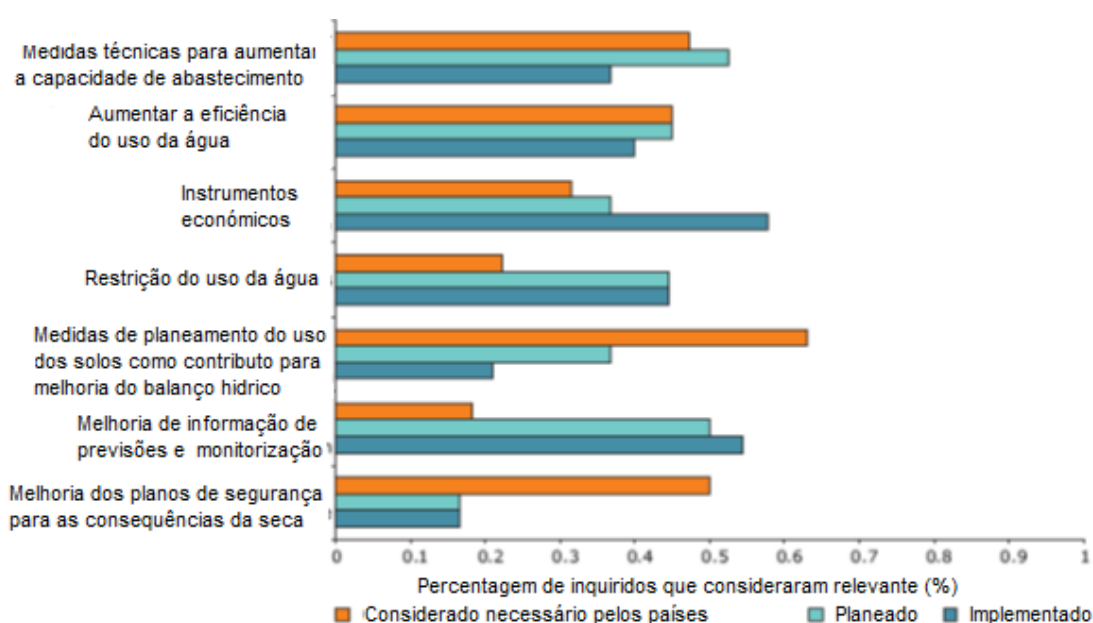


Figura 1.11 – Planeamento futuro e implementação de medidas para o controlo da seca e escassez de água (EEA, 2007).

Otterpohl *et al.* (2003) refere como primeira prioridade, para a redução do consumo de água, a prevenção da produção de águas residuais, seguida da reutilização de água.

Em oposição ao carácter preventivo desta matéria para a Europa, este é o assunto do dia no médio Oriente adoptando aqui um carácter urgente. A adopção de métodos não convencionais para a conservação e reutilização de água nos países da Região Este do Mediterrâneo é inevitável (WHO,2006).

Uma nova solução poderá passar pelo conceito de Saneamento com separação na fonte (Source control), inerente à abordagem Ecological Sanitation, baseando-se no facto de existirem grandes diferenças na caracterização das águas cinzentas, amarelas e negras.



## 2. ÁGUAS CINZENTAS

No decorrer das últimas décadas foi desenvolvida e implementada uma nova abordagem da gestão de águas residuais, referida como “Ecological Sanitation” ou saneamento descentralizado. Este conceito baseia-se na ideia de que a urina, as fezes e a água são recursos de um ciclo ecológico. É uma abordagem que visa a protecção da saúde pública, prevenção da poluição e, simultaneamente, a devolução de nutrientes ao solo. A ideia fundamental destes conceitos integrados e inovadores são baseados no princípio de separação dos diferentes fluxos da água residual doméstica de acordo com as suas características. A tendência da gestão das águas passa por estruturas inteligentes, sinérgicas e descentralizadas.

Esta temática da descentralização do saneamento tem décadas e apresenta algumas vantagens, em especial a redução de infra-estruturas de transporte e bombeamento necessárias e a possibilidade de tratar a água residual de acordo com a sua origem e qualidade. Acresce ainda que os caudais de água residual a tratar são pequenos o que permite construções e sistemas de tratamento mais pequenos e simples.

No que se refere à gestão de águas residuais industriais este conceito encontra-se amplamente difundido com grandes vantagens ao nível das eficiências e, por vezes, com vantagens financeiras (Otterpohl *et al.*, 2002).

Otterpohl *et al.*, (1999) classifica, de acordo com a sua qualidade, em quatro grupos, os resíduos de uma habitação (águas e resíduos sólidos):

- Resíduos da cozinha e fezes pouco diluídas com urina (blackwater).
- Água cinzenta da casa de banho, máquinas de lavar e cozinha.
- Água drenada da chuva
- Resíduos sólidos não-biodegradáveis.

Com o desenvolvimento desta abordagem surgem três conceitos relativamente recentes que iremos descrever nos seguintes subcapítulos:

- Águas cinzentas;
- Águas negras ou castanhas;
- Águas amarelas.

## 2.1. Definição

Segundo o WHO (2006) e Jefferson *et al.* (1999), água cinzenta é água residual não tratada que não tenha estado em contacto com água proveniente dos sanitários. A água cinzenta inclui água residual de banheiras, chuveiros, lavatórios de casa de banho, máquinas e tanques de lavar a roupa, ou uma descarga equivalente. Não inclui água residual de lavatório de cozinha nem de máquinas de lavar a louça. Friedler e Hadari (2006), que definem a água cinzenta como toda a água com origem em equipamentos geradores de efluentes numa casa com excepção dos sanitários (E.Friedler *et al.*, 2006 e Nolde, 1999). A sua definição é a mesma aceite por diversos autores. A divergência de definições ocorre nas águas provenientes de equipamentos de lavagem de louça, que são as que apresentam maior carga orgânica e concentração de sólidos resultante dos resíduos alimentares.

A ANQUIP, através da especificação técnica ETA 0905, apresenta a as seguintes definições:

- Águas residuais domésticas - efluentes provenientes de instalações sanitárias, cozinhas, lavagem de roupas e usos similares.
- Águas Negras - águas provenientes das descargas de sanitas e mictórios, ou seja, as que contêm urina e/ou fezes.
- Águas cinzentas - águas residuais domésticas que não contem águas negras. São provenientes, em geral, de banheiras, duches, lavatórios, lavagem de roupa e cozinhas.

## 2.2. Caracterização

A Figura 2.1 representa os vários fluxos e respectivas fontes produzidos numa habitação doméstica. As águas negras poderão ser encaminhadas para a rede de saneamento instalada ou ser alvo de tratamento para posterior reutilização ou deposição. As águas provenientes dos lavatórios de cozinha, por serem caracterizadas por elevadas cargas com fortes variações, geralmente são incorporadas nas negras e têm o mesmo destino. As águas provenientes das máquinas de lavar louça podem ser integradas nas águas cinzentas ou incorporadas com as negras e provenientes de cozinha exactamente pelo motivo anterior. Os restantes fluxos são considerados parte integrante das águas cinzentas.

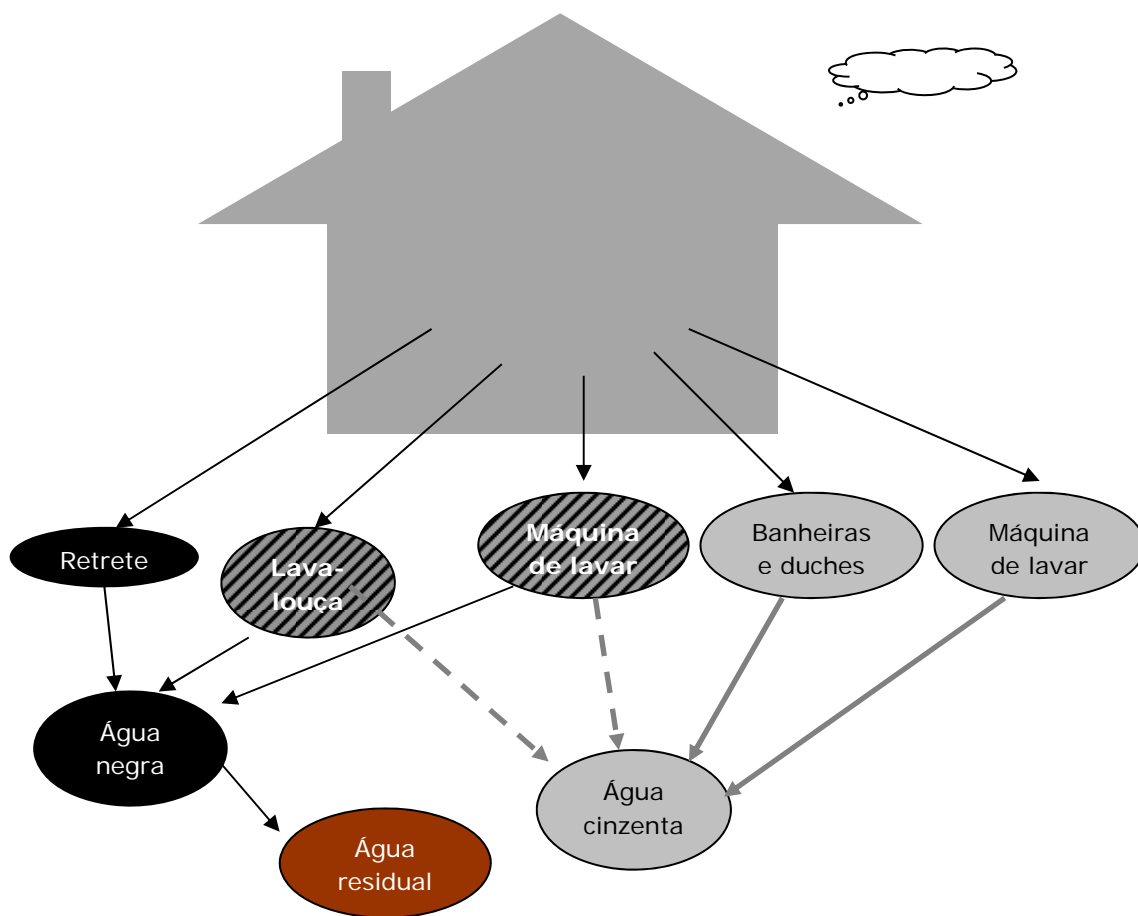


Figura 2.1 – Fluxos resultantes de actividades domésticas numa habitação.

### 2.2.1. Caracterização quantitativa

As águas cinzentas representam cerca de 60 a 70 % do consumo de água potável no interior de uma habitação (Jefferson *et al.*, 1999; Ericksson *et al.*, 2002; Friedler *et al.*, 2006b; NSW, 2006; ANQIP, ETA 0905, 2011, Khoury-Nolde, 2005), cuja produção varia entre 60 e 120 L/hab.dia. Admitindo uma capitação média de água de abastecimento de 160 L/hab.dia (correspondente a 57 600 L/hab.ano), a produção de águas cinzentas, com potencial de reutilização, varia entre 96 e 112 L/hab.dia (de 35 040 a 40 880 L/hab.ano). Uma família típica pode alcançar uma poupança de água na ordem dos 30-50%, se toda a água cinzenta for reutilizada (Jeppesen 1996).

Hoek *et al.* (1999) testou vários cenários de reutilização de águas donde concluiu que no cenário de reutilização de águas cinzentas provenientes da banheira, duche e lavatório em recarga de

autoclismos (apenas), a poupança de água de abastecimento é de 21%, considerando como captação total e captação de autoclismo, 144 e 30,5 L/hab.dia, respectivamente.

A ANQIP, indica que para edifícios novos ou reabilitados onde tenham sido instalados dispositivos de classe de eficiência hídrica A ou inferior, os consumos médios de água em abastecimento doméstico são de 100 l/(hab.dia), sendo a produção de águas cinzentas equivalente a 70% deste valor. Este valor de captação de consumo de água, apesar de bastante conservador, permite prever a enorme potencialidade associada à reutilização destas águas. Remete ainda para o balanço hídrico apresentado na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 Balanço hídrico em edifícios residenciais com dispositivos eficientes (valores médios em litros por habitante e por dia) (Khoury-Nolde, 2005)

Natureza da água utilizada	Usos da água	Águas residuais produzidas	Destino da água
52 litros de água de qualidade alimentar	40 litros para duche, banheira e lavatórios	70 litros de águas cinzentas	48 litros de águas cinzentas regeneradas
	12 litros para a cozinha		
48 litros de água regenerada	5 litros para limpezas		22 litros de águas cinzentas descarregadas
	13 litros para a máquina		
	25 litros para descarga de autoclismos	25 litros de águas negras	25 litros de águas negras descarregadas
	5 litros para rega	-	Infiltração no solo

### 2.2.2. Caracterização qualitativa

A qualidade das águas cinzentas varia diariamente, tanto entre casas diferentes como numa mesma casa. Depende das actividades dos ocupantes das mesmas e, principalmente, da origem da água cinzenta (WHO, 2006).

As substâncias presentes nas águas resultam geralmente de produtos de higiene pessoal, detergentes, cabelos, pele, e, eventualmente, sujidade da roupa, sendo facilmente biodegradáveis. Devido a esta biodegradabilidade, o tratamento não pode ser muito retardado pois podem desencadear-se processos de decomposição envolvendo sulfatos e outros elementos que estão normalmente na origem da produção de odores desagradáveis.



Através da análise da Figura 2.2, representativa da contribuição dos vários dispositivos para o caudal de águas residuais de uma habitação com uma captação média de 102 l/hab.dia, as águas cinzentas representam 69,2%, ou seja, 70,8 l/hab.dia.

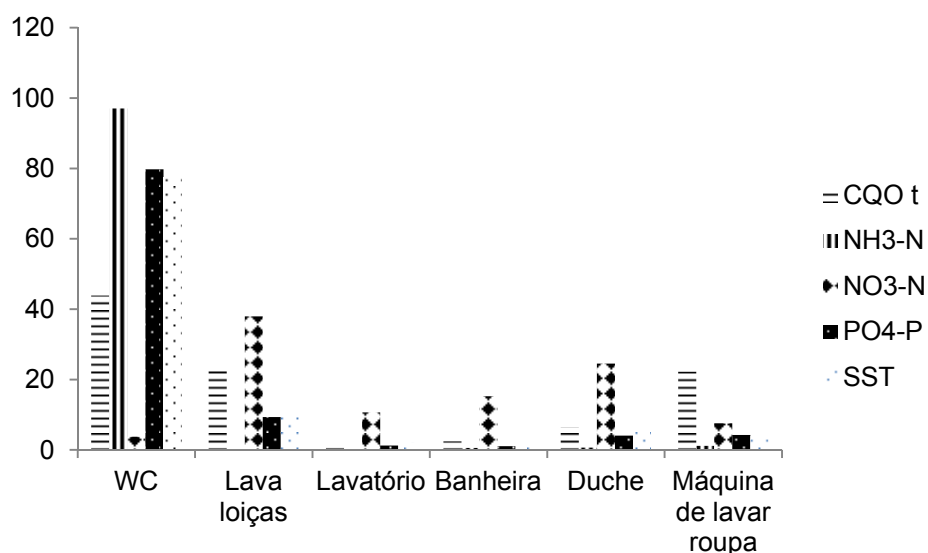


Figura 2.2 – Contribuição dos vários dispositivos para os parâmetros de águas residuais, em percentagem (Almeida *et al.* 1999).

Da análise da Figura 2.2, é evidente que a sanita apresenta a maior contribuição em termos de volume, CQO, NH<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e SST, sendo a excepção os nitratos que são maioritariamente produzidos no lavatório da cozinha.

Segundo Gajurel *et al.*(2003), as principais características, (em valores aproximados), de cada um destes fluxos encontram-se na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Caracterização dos diferentes fluxos das águas residuais domésticas (Gajurel, 2003)

Parâmetros	Cargas (Kg/hab.ano)	Água Cinzenta 25000 – 100000 (L/hab.ano)	Urina ≈ 500 (L/hab.ano)	Fezes ≈ 50 (L/hab.ano)
<b>N</b>	4 – 5	3%	87%	10%
<b>P</b>	0.75	10%	50%	40%
<b>K</b>	1.8	34%	54%	12%
<b>CQO</b>	30	41%	12%	47%

A análise da Tabela 2.2 permite verificar que a urina engloba a maior parte dos nutrientes solúveis, enquanto que a água cinzenta, não obstante o seu volume significativamente superior, é caracterizada por uma pequena quantidade dos nutrientes produzidos.

O tipo de utilização de águas potáveis ou a proveniência das águas cinzentas constitui a principal influência na sua caracterização qualitativa. As principais fontes de água cinzenta numa habitação doméstica estão descritas abaixo assim como o seu contributo particular para a composição físico-química do efluente.

Segundo M.Wright (1996) cada um desses fluxos tem características próprias, representadas na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Características qualitativas de água cinzenta (M.Wright, 1996).

Fonte de água cinzenta	Bactérias	Lixívia	Cloro	Espuma	Partículas de alimentos	Cabelos	pH elevado	Água quente	Nitrato	Odor	Óleos e gorduras	Matéria orgânica	Demanda de oxigénio	Fosfato	Salinidade	Sabões	Sódio	Sólidos suspensos	Turvação
Máquina de lavar a roupa		■		■			■	■	■		■		■	■	■	■	■	■	■
Máquina de lavar a louça	■			■	■		■	■		■	■	■	■		■	■		■	■
Banheira e duche	■					■		■		■	■		■			■		■	■
Cozinha	■				■			■		■	■	■	■			■		■	■
Piscina			■												■				

### Águas provenientes da cozinha

As águas provenientes das cozinhas são águas poluídas por partículas de alimentos, óleos, gorduras e outros poluentes, e é muitas vezes mais poluente do que as águas negras ou águas residuais. Promove e suporta o crescimento de microrganismos e, devido à presença de partículas de alimentos e solidificação de gorduras, provoca entupimentos nos sistemas de drenagem (NSW, 2000). Este fluxo representa 25% do caudal de águas cinzentas mas a sua exclusão resulta numa redução de 60 a 80% das concentrações finais da água cinzenta em CQO, CBO e SST, e ainda ligeira redução de sólidos voláteis e óleos (Friedler 2004). Segundo a NSW (2006) a contribuição desta categoria é inferior não ultrapassando os 10%. Por tudo isto, a opção de diversos autores, de exclusão deste fluxo, é recomendável.

### Águas cinzentas provenientes de banhos

As águas de banho são pouco poluídas, pelo que com um tratamento simples, poderão ser utilizadas numa operação pouco exigente como é a recarga de autoclismos. A sua produção é muito similar ao consumo nas mesmas, cerca de 54 litros por habitante e por dia, o que dispensa volumes de armazenamento significativos (Neves *et al.*, 2006). A solução de reutilização pode ser encarada a nível individual (isto é, uma unidade em cada casa de banho) quer a nível central (uma única unidade para um conjunto de sanitas), o que lhe confere grande flexibilidade. Os elementos mais comuns nas águas de duche são os sabões, champôs, cabelos e agentes de limpeza.

Como consequência desta filosofia, de separação dos efluentes domésticos na fonte, surgem as águas negras com uma composição muito carregada.

### Águas Negras

As águas provenientes de sanitas, denominadas águas negras, são compostas por fezes, urina e papel higiénico, e apresentam contaminação bacteriana patogénica muito elevada, elevadas cargas orgânicas e de nutrientes, cor escura e odor desagradável (Al-Jayyousi, O.R., 2003). A urina e o papel higiénico necessitam de oxigénio para a nitrificação que ocorre lentamente num ambiente aquático e geralmente só se inicia quando a fase de decomposição do carbono está perto do fim.

A água cinzenta contém apenas um décimo do azoto presente nas águas negras. Tal como se pode observar nas Figuras 2.3 e 2.4, a velocidade de decomposição das águas cinzentas é bastante superior à das águas negras, sendo o seu tratamento, consequentemente, mais simples.

$$\frac{dy}{dt} = k'(La - y)$$

$La$  = Carência bioquímica de oxigénio no instante  $t=0$ .

$Y$  = consumo de oxigénio.

$k'$  = constante para a oxidação bioquímica.

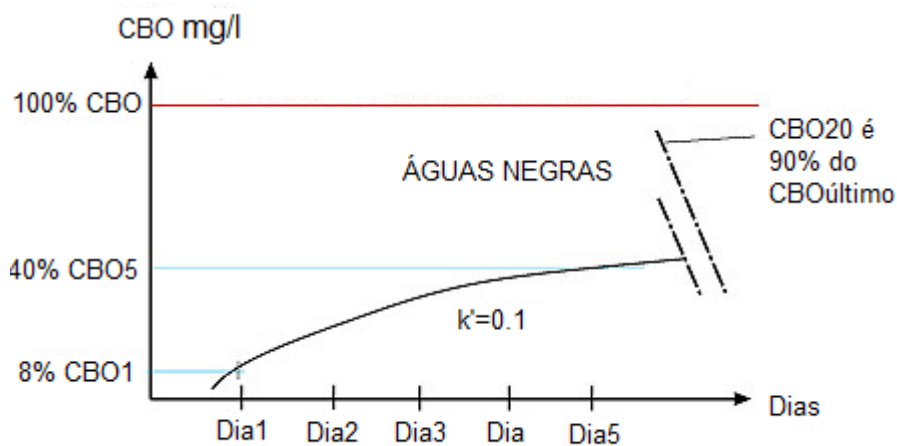


Figura 2.3 – Taxa de decomposição das águas negras (Olson, 1967)

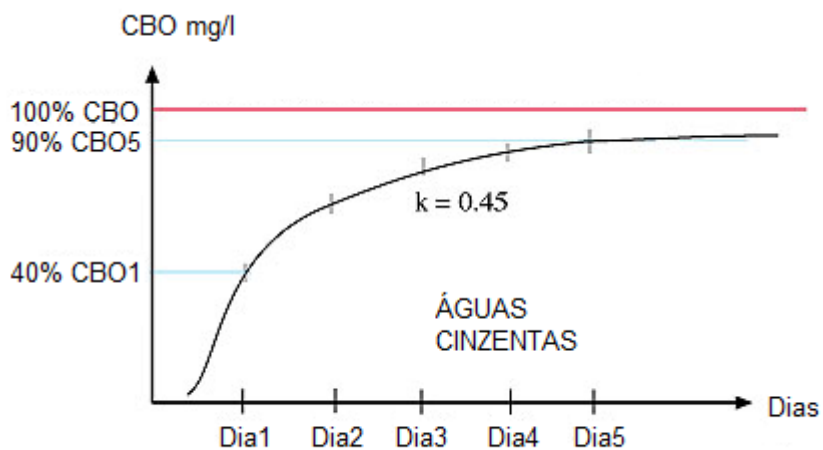


Figura 2.4 – Taxa de decomposição das águas cinzentas (Olson, 1967)

Quanto menor é o  $k$ , mais lenta é a decomposição. Ou seja, num período de 5 dias, as águas cinzentas são mais facilmente biodegradáveis, atingindo 40% do CBO último no primeiro dia enquanto que as águas negras apenas atingem 8% do CBO último. Este facto pode ser explicado pela presença de matéria orgânica que, em relação à presente nas águas negras, está mais prontamente disponível para os microrganismos.

Uma variante de separação é o tratamento anaeróbio, conjunto, das águas negras com o efluente da cozinha, devido à sua semelhança em termos de cargas orgânicas, através de um reator anaeróbio de manto de lamas, fluxo ascendente (UASB –upflow anaerobic sludge blanket) (Zeeman e Lettinga, 1999; Wendland, 2006).

Como consequência da separação na fonte há ainda autores que especulam sobre a existência ainda de um terceiro fluxo, intitulado de água amarela que é a urina, rica em nutrientes (90% do azoto e 67% do fósforo dos excrementos humanos), recolhido em urinóis ou sanitas separativas (também denominadas *no-mix toilets*). Este fluxo, quando recolhido separativamente, pode ser reutilizado directamente na agricultura (Günther 2000).

Microbiologicamente, a presença de *eschericia coli* e outros organismos entéricos na água indica contaminação fecal e uma possibilidade da presença de microrganismos patogénicos intestinais, como a *salmonella* ou vírus entéricos. O indicador de qualidade microbiológica é o grupo das bactérias coliformes termo-tolerantes, geralmente designadas como coliformes fecais que crescem no intestino de animais de sangue quente (humanos), sendo a sua contagem indispensável à análise de águas cinzentas. A sua presença em águas cinzentas é baixa, excepto quando esta resulta da lavagem de fraldas ou roupas em contacto com excrementos, o que sugere que o número de agentes patogénicos também é reduzido. De acordo com Rose *et al.* (1990), existe uma variedade de perfis microbiológicos das águas cinzentas, visto que este depende de características familiares como número e idades de crianças, características higiénicas e actividades.

Relativamente aos sais presentes na água cinzenta, estes têm maioritariamente origem nos detergentes e geralmente apresentam-se na forma de compostos de sódio, magnésio e cálcio. A análise do teor destes sais encontra-se na Tabela 2.5. A presença de compostos orgânicos xenobióticos nesta água, um grupo tão heterogéneo de compostos (876), é o resultado da presença de produtos químicos como os detergentes, sabonetes, champôs, perfumes, tintas e material de limpeza.

Tabela 2.4 – Grupos de compostos presentes nos produtos químicos encontrados numa casa representativa da média na Dinamarca (Eriksson *et al.* 2002).

<b>Grupo de Compostos</b>	<b>Número de substâncias em cada grupo</b>
Detergentes anfotéricos	20
Detergentes aniônicos	73
Detergentes catiónicos	34
Detergentes não iónicos	65
Lixívias	16
Tintas	26
Emulsionantes	28
Enzimas	4
Fragrâncias	197
Persistentes	79
Amaciadores	29
Solventes	67
Outros	238

A Tabela 2.4 permite dar uma perspectiva do elevado número e heterogeneidade de compostos presentes nos produtos utilizados num ambiente doméstico e das consequências que tem na eventualidade de os medir a todos.

Os parâmetros físicos relevantes são a temperatura, a cor, a turvação e os sólidos suspensos. A temperatura da água cinzenta varia entre 18-38 ° C (Okalebo, 2004). As temperaturas elevadas podem ser desfavoráveis visto que favorecem o crescimento microbiano e podem, em águas super saturadas, induzir a precipitação (Eriksson, 2002). Como fontes de sólidos suspensos nas águas cinzentas incluem-se: resíduos de alimentos, partículas de solo e areia, cabelos, fibras e minerais (das águas da lavagem de roupa).

Existe uma infinidade parâmetros a analisar de forma a cumprir a legislação que regulamenta a descarga de efluentes nos meios aquáticos, no entanto, os parâmetros químicos chave na monitorização de água cinzenta são: alcalinidade, dureza e pH, carência bioquímica de oxigénio (CBO), carência química de oxigénio (CQO), oxigénio dissolvido, azoto e fósforo (Okalebo, 2004).

Como já foi referido anteriormente, as características e composição da água cinzenta variam significativamente dependendo dos pontos de recolha, da qualidade da água de abastecimento, do comportamento dos habitantes, da idade dos ocupantes e respectivos padrões de utilização de água. Esta variação pode constituir a principal dificuldade para a eficiência do sistema de

tratamento. A Tabela 2.5 resume várias análises de parâmetros de águas cinzentas elaboradas por vários autores.

Tabela 2.5 – Caracterização de águas cinzentas.

Parâmetro	Valores	Unidades	Referência
<b>CQO</b>	48	g/hab.dia	Tullander, Ahl and Olsen 1967
	171	mg/L	March <i>et al.</i> 2004
	168	mg/L	Al-Jayyyousi <i>et al.</i> 2003
	33.7	g/hab.dia	Gajurel <i>et al.</i> 2003
	52.1	g/hab.dia	Vinneras <i>et al.</i> 2006
	252	mg/l	Humeau, <i>et al.</i> 2011
	144	mg/l	Pidou <i>et al.</i> 2008
	136	mgO <sub>2</sub> /l	Chaillou, 2011
	270	mg/L	Coutinho, 2009
	154.9	mg/L	M.Ahmed <i>et al.</i>
<b>Turvação</b>	81	g/hab.dia	Friedler 2004
	96	NTU	Dallas <i>et al.</i> 2004
	25	NTU	Al-Jayyyousi <i>et al.</i> 2003
	20	NTU	March <i>et al.</i> 2004
	150	NTU	Chaillou, 2011
	62	NTU	Humeau, <i>et al.</i> 2011
	35	NTU	Pidou <i>et al.</i> 2008
	35.8	NTU	M.Ahmed <i>et al.</i>
	65	NTU	Friedler <i>et al.</i> , 2006 (b)
	76.3	NTU	Rose <i>et al.</i> , 1990
<b>CBO<sub>5</sub></b>	167	mg/L	Dallas <i>et al.</i> 2004
	181	mg/L	Al-Jayyyousi <i>et al.</i> 2003
	96	mg/L	Al-Jayyyousi <i>et al.</i> 2003
	39	mg/l	Pidou <i>et al.</i> 2008
	240	mg/L	chaillou, 2011
	140	mg/L	Coutinho, 2009



Parâmetro	Valores	Unidades	Referência
	89	mg/L	Humeau, <i>et al.</i> 2011
	67.4	mg/L	M.Ahmed <i>et al.</i>
	133	mg/L	A.Wiel-Shafran <i>et al.</i> 2006
	47	g/hab.dia	Friedler 2004
<b>CBO<sub>7</sub></b>	26	g/hab.dia	Vinneras <i>et al.</i> 2006
<b>Coliformes fecais</b>	1,5	UFC/100ml	Dallas <i>et al.</i> 2004
	8.2x10 <sup>4</sup>	UFC/100ml	Coutinho, 2009
<b>Fosfato</b>	16	mg/L	Dallas <i>et al.</i> 2004
	9.8	mg/L	Elmitwalli <i>et al.</i> 2007
	0.5	mg/l	Pidou <i>et al.</i> 2008
	9.3	mg/L	Rose <i>et al.</i> , 1990
	5.9	g/hab.dia	Friedler 2004
<b>SST</b>	44	mg/L	March <i>et al.</i> 2004
	20.4	mg/L	M.Ahmed <i>et al.</i>
	125	mg/L	Chaillou, 2011
	15	mg/L	Coutinho, 2009
	42.2	mg/L	Humeau, <i>et al.</i> 2011
	29	g/hab.dia	Friedler 2004
<b>N<sub>total</sub></b>	0.8	g/hab.dia	Otterpohl <i>et al.</i> 2002
	1.2	g/hab.dia	Folke Günther
	1.4	g/hab.dia	Vinneras <i>et al.</i> 2006
	0.36	g/hab.dia	Gajurel <i>et al.</i> 2003
	9.5	mg/L	Chaillou, 2011
	7.6	mg/l	Pidou <i>et al.</i> 2008
	19	mg/L	A.Wiel-Shafran <i>et al.</i> 2006
	1.7	mg/L	Rose <i>et al.</i> , 1990
<b>Fósforo</b>	0.5	g/hab.dia	Otterpohl <i>et al.</i> 2002
	0.38	g/hab.dia	Folke Günther
	0.52	g/hab.dia	Vinneras <i>et al.</i> 2006
	2	mg/L	Coutinho, 2009
	0.42	mg/L	Chaillou, 2011

Parâmetro	Valores	Unidades	Referência
K	2.4	mg/L	Al-Jayyyousi <i>et al.</i> 2003
	0.21	g/hab.dia	Gajurel <i>et al.</i> 2003
	0.2	g/hab.dia	Otterpohl <i>et al.</i> 2002
	1.67	g/hab.ano	Gajurel <i>et al.</i> 2003
pH	8.1		A.Wiel-Shafran <i>et al.</i> 2006
	7.58		Chaillou, 2011
	7.3		Humeau, <i>et al.</i> 2011
	6.6 – 7.6		Pidou <i>et al.</i> 2008
	6.9		Coutinho, 2009
	6.54		Rose <i>et al.</i> , 1990
Sólidos totais	1190	mg/L	Friedler 2004
SSV	203	mg/L	Friedler 2004

Apesar da concentração em matéria orgânica das águas cinzentas ser semelhante à das águas residuais domésticas, a sua natureza química é substancialmente diferente. A razão CQO:CBO das águas cinzentas é bastante elevada (3.5) em relação às verificadas nas águas residuais domésticas, (2.2), o que indicia que as primeiras contêm muito mais matéria não rapidamente biodegradável. A água cinzenta é caracterizada por um teor de matéria orgânica biodegradável baixo, sendo que a razão CQO:NH<sub>3</sub>:P para as águas cinzentas é 1030:2.7:1 enquanto que para as águas residuais domésticas é de 100:5:1, o que confirma que a sua concentração em macro-nutrientes (azoto e fósforo) é muito inferior (Jefferson *et al.*, 1999). A água cinzenta apresenta uma carga limitada de azoto, maioritariamente sob a forma particulada (80 a 90%), enquanto nas águas residuais domésticas e nas águas negras a maior parte do azoto se encontra na forma solúvel – NH<sub>4</sub> (Elmitwalli *et al.*, 2007<sup>a</sup>).

As águas cinzentas necessitam de tratamento para algumas das inúmeras aplicações de reutilização uma vez que, à semelhança com as águas residuais, contêm componentes prejudiciais para o ambiente. A Tabela 2.6 lista os principais componentes e respectivos efeitos negativos no meio ambiente.

Tabela 2.6 - Principais componentes de uma água residual e respectivo efeito no meio ambiente (Henze *et al.*, 2001)

Componente	Efeito no Meio Ambiente
Microrganismos: bactérias patogénicas, vírus e ovos de helmintes	Afectação da saúde pública, por ingestão ou simples contacto.
Matéria orgânica biodegradável	Depleção do oxigénio em rios e lagos; Mortalidade de peixes e outros seres; Odores desagradáveis.
Matéria orgânica: detergentes, pesticidas, óleos e gorduras, corantes, solventes e fenóis.	Efeitos tóxicos; Inconveniências estéticas; Bio-acumulação na cadeia alimentar.
Nutrientes: azoto, fósforo	Efeitos tóxicos; Proliferação de algas; Decréscimo do oxigénio.
Metais: Hg, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni	Bio-acumulação; Efeitos tóxicos.
Outros materiais inorgânicos	Efeitos estéticos desagradáveis; Odores; Corrosão e efeitos tóxicos.
Efeitos térmicos: água quente	Mudanças nas condições de vida da fauna e da flora.

### 2.3. Benefícios e potencialidade da reutilização

A reciclagem de águas cinzentas e de águas residuais está a emergir como parte da gestão da procura de água, promovendo a preservação da água de alta qualidade, assim como, reduzindo a carga de poluentes no ambiente e os respectivos custos de suporte. Ou seja, é uma forma de fornecer água não potável às habitações, reduzindo o consumo de água potável por pessoa, o que se reflecte num alívio ambiental substancial, tanto para o sector de abastecimento como para o de saneamento. *As águas cinzentas representam o maior potencial de poupança de água nos consumos domésticos.* De acordo com Otterpohl *et al.* (2002), em certas áreas urbanas, a água usada (água residual) pode ser considerada uma aproximação ao único recurso de água disponível. No futuro, muitas áreas densamente povoadas e com escassez de água podem alcançar a independência dos elevados caudais de água potável do exterior. Por exemplo, o

tratamento de água cinzenta através de membranas biológicas seguidas de osmose inversa, resulta na possibilidade de usar a água tratada como água potável.

Os principais **Benefícios** da reciclagem de água cinzenta são:

- Redução da procura de água potável - a água cinzenta pode substituir a água potável em várias situações, gerando uma poupança e aumentando o fornecimento efectivo de água em regiões nas quais é necessária para irrigação.
- Redução do caudal afluente às fossas sépticas e estações de tratamento de águas residuais – a reutilização de águas cinzentas prolonga significativamente o período de vida útil de uma fossa séptica. Para as estações de tratamento de águas residuais, a redução do caudal afluente reflecte-se em eficiências de tratamento superiores e custos inferiores.
- Eficiência de tratamento.

Os benefícios para o público em geral são muito extensos e de quantificação complicada, variando desde economia dos recursos hídricos, adiamento da exploração de novos recursos, redução do consumo energético no sector, adiamento de investimentos em futuras estações de tratamento de águas residuais, estações de tratamento de água e redes interceptoras de águas residuais, entre outros. No entanto, para o consumidor individual, tanto a potencialidade como os benefícios de uma solução descentralizada de tratamento e reutilização de água cinzenta resume-se à redução de custos, tanto na factura da água potável como na respectiva taxa de saneamento.

A reciclagem de águas cinzentas pode ser indoor ou outdoor, sendo que a sua aplicação a infraestruturas exteriores é considerada uma actividade comum em muitos países. Ambas as aplicações (*indoor* e *outdoor*) estão aplicadas no diagrama da Figura 2.5.

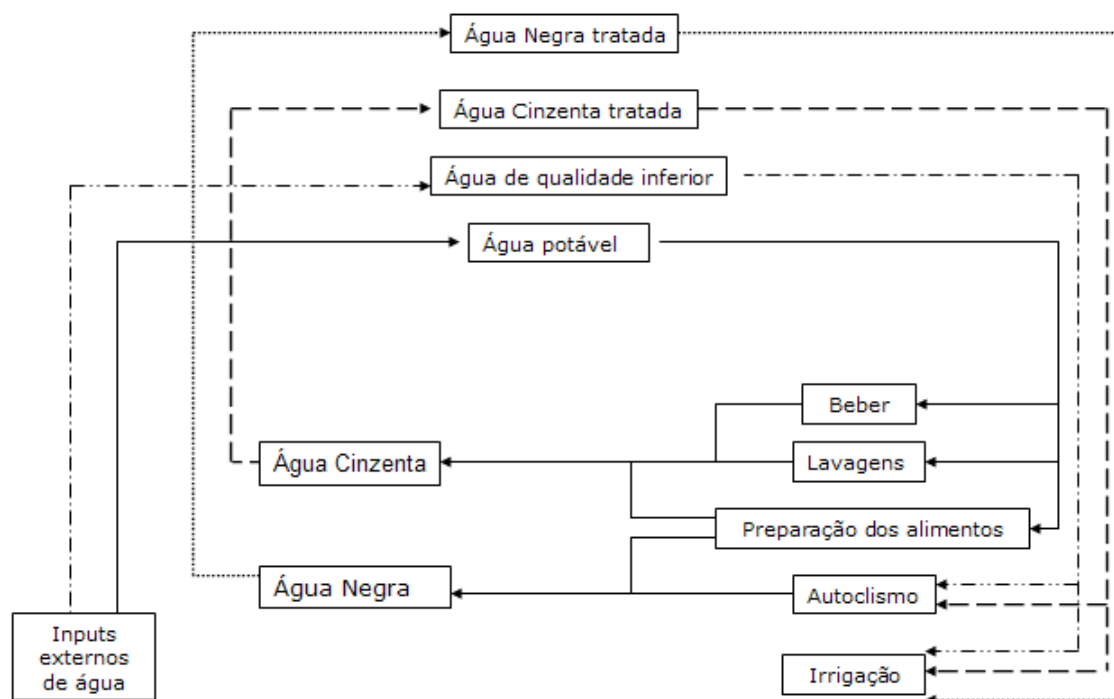


Figura 2.5 – Diagrama de ciclo de água fechado aplicado a um edifício.

Além das principais vantagens desta filosofia estarem do lado do público em geral, os principais custos estão sob a tutela do consumidor individual, tais como: recolha separativa dos dois fluxos, distribuição separativa dos outros dois fluxos, os custos de investimento, manutenção e exploração do sistema de tratamento de água cinzenta e ainda os custos energéticos associados à distribuição da água cinzenta tratada.

Tendo em conta o cenário actual da economia mundial, a redução de custos, tanto para o utilizador como para o explorador, terá sempre uma ponderação superior numa análise de custos benefícios.

Se nos focarmos apenas numa das muitas aplicações possíveis para estas águas, o abastecimento de autoclismos, verificamos que por si só já constitui um grande benefício económico.

O consumo de água de rede para autoclismo (volume de 6 L) varia de 15 a 55 L/hab.dia (Nolde, 1999). Em 1998, Surendran e Wheatley (citado por Jefferson, *et al.*, 1999) apresentaram um balanço entre a água cinzenta gerada e os consumos de água pelos autoclismos, representado na Figura 10, no qual se verifica 30% de afinidade entre os dois fluxos. A água cinzenta é gerada com um desfaseamento horário do consumo no autoclismo e em curtos períodos de tempo, enquanto que o consumo associado ao autoclismo é mais consistente durante todo o dia. A reutilização de águas cinzentas em autoclismos pode reduzir o consumo de água interior em 40 a 60 L/hab.dia, levando a uma redução significativa, de 10 a 20%, do consumo urbano de água (Friedler 2004).

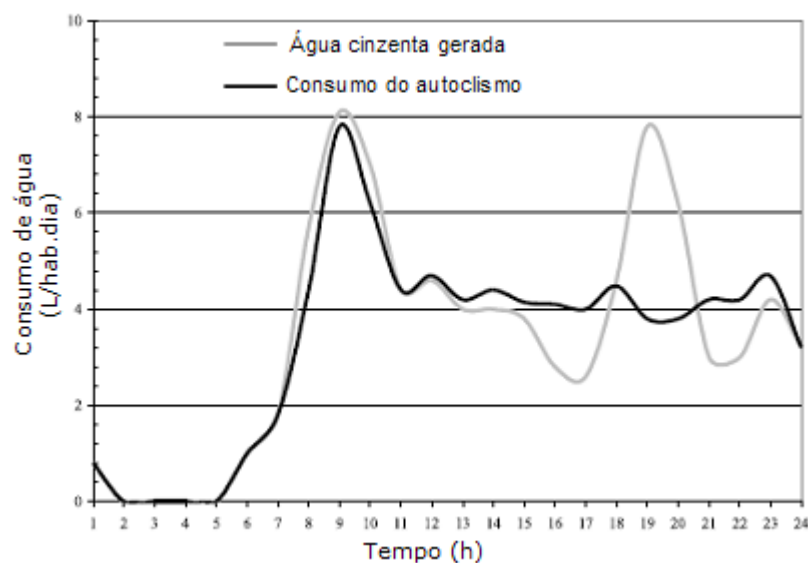


Figura 2.6 – Produção típica de água cinzenta e consumo nos autoclismos numa faculdade. (Adaptado de Surendran & Wheatley)

A introdução desta nova abordagem do saneamento traz benefícios, primeiro para o ambiente, e para o consumidor e as entidades gestoras da drenagem e tratamento de águas residuais. Os benefícios para o meio ambiente são a redução da exploração dos recursos aquíferos e todas as consequências que daí advêm. Os benefícios para o consumidor são de índole económica e reflectem-se na redução da conta da água, resultante de um menor consumo.

De um modo geral, em Portugal, a estrutura tarifária definida no âmbito do serviço de drenagem e tratamento de águas residuais pode ser constituída por uma componente fixa e uma componente variável. A componente fixa é a fracção da estrutura tarifária não dependente do volume de água residual drenado, composta por todos os elementos facturados com periodicidade definida. A componente variável corresponde à fracção da estrutura tarifária dependente de vários factores, entre eles o volume de águas residuais descarregado, as características físico-químicas das águas residuais descarregadas e/ou o volume de água fornecido. A componente variável resultante da estrutura tarifária, a existir, pode ser constituída por uma ou várias tarifas unitárias e/ou tarifas por bloco, que são função do escalão e/ou uma ou várias tarifas unitárias, que são função de parâmetros físico-químicos ou por uma percentagem do valor do consumo da água. Em 2010, a média ponderada das tarifas aprovadas para as concessões multimunicipais de serviços de águas cresceu 2,6% em relação ao ano anterior e 2,4% para as concessões municipais de serviços de águas. Esta tendência de crescimento tem-se vindo a verificar desde 2002. Atualmente, as médias ponderadas dos preços por  $m^3$  para as concessões multimunicipais e municipais são 1,0242 e 0,4816, respectivamente (RASARP2010). O Relatório Anual do Sector de Águas e Resíduos em Portugal de 2010 da ERSAR refere, no entanto, que o preço médio do serviço de abastecimento de água em baixa é de 1,43 €/m<sup>3</sup>.

Um dos indicadores com maior relevância e significado para o utilizador doméstico dos sistemas públicos urbanos é a factura média do serviço de abastecimento de água. Corresponde ao valor médio pago mensalmente e anualmente por um agregado familiar que utiliza um dado volume de água facturado, segundo o tarifário aplicado ao sector doméstico. No cálculo deste indicador são fixados dois níveis de volume anual de água fornecida, para que o mesmo possa reflectir apenas a evolução dos tarifários de abastecimento de água no sector doméstico. A factura anual e mensal do abastecimento de água, considerando cada uma das utilizações, em cada Região Hidrográfica.

Analisando a questão sob o ponto de vista do valor de factura média anual de abastecimento de água para o continente, o benefício desta aplicação pode ser calculado em euros. Ou seja, se a factura média anual é de 112 Euros e o caudal consumido para recarga de autoclismos é aproximadamente 25% da capitação, pode extrapolar-se que a redução na factura é da mesma ordem de grandeza, 25%.

Tabela 2.7 - Factura média ponderada dos serviços de abastecimento de água e de drenagem e tratamento de águas residuais. Adaptada de INSAAR (2010).

	Abastecimento de água				Drenagem e tratamento de águas residuais			
	Para utilização anual de 120m <sup>3</sup>		Para utilização anual de 200m <sup>3</sup>		Para utilização anual de 120m <sup>3</sup>		Para utilização anual de 200m <sup>3</sup>	
Regiões Hidrográficas	(€/mês)	(€/ano)	(€/mês)	(€/ano)	(€/mês)	(€/ano)	(€/mês)	(€/ano)
Continente	9.3	112	17.1	205	4.8	58	7,9	95
Açores (RH 9)	8.0	96	14.8	177	2.5	30	5.2	62
Madeira	7.0	84	11.3	135	2.2	27	3.1	37
Nacional	9.2	111	16.9	203	4.7	57	7.8	94

Em Portugal a capitação calculada com base na população atendida e população flutuante é 168 l/hab.dia (INSAAR, 2010).

A gama de aplicação para as águas cinzentas tratadas é muito diversa, podendo ser uma reutilização agrícola, urbana, para irrigação, para fins recreativos, para a construção, ambiental, industrial.

As aplicações com maior viabilidade económica e aceitação do público em termos de saúde pública são irrigação e lavagem de carros para utilizações exteriores, e autoclismos e lavagem de roupa para utilizações interiores.

- Autoclismo
- Irrigação
- Lavagem de roupa
- Lavagem de carro

A composição das águas cinzentas depende além de outros factores da natureza da actividade do edifício. Se por um lado é nos edifícios comerciais ou públicos que existe maior potencial para reutilização de águas cinzentas também é nos edifícios com este tipo de actividade que o caudal de águas cinzentas corresponde a uma menor percentagem do caudal de águas residuais produzido. No entanto, a reutilização destas águas em edifícios deste tipo apresenta as seguintes vantagens: simplicidade administrativa e de implementação, criação de uma imagem ecológica, e provavelmente custos específicos inferiores (Friedler, 2010).



A flexibilidade e potencialidade destes sistemas de reutilização de águas cinzentas ganham novas e superiores proporções quando coordenados com sistemas de reutilização de águas pluviais.

## **2.4. Enquadramento normativo**

A qualidade da água para reutilização de águas residuais varia consoante o país e a aplicação a que se destina, mas geralmente inclui parâmetros que indiquem as cargas orgânica, de sólidos e microbiológica.

As primeiras linhas de orientação desenvolvidas para uma reutilização segura de água residual partiram da Organização Mundial de Saúde e da US Environmental Protection Agency (USEPA).

As primeiras publicações sobre a temática da reutilização de águas residuais, a sua potencialidade bem como respectiva exigência de qualidade deram origem ao “Clean Water Act” em 1972 e o “Safe Drinking Water Act” em 1974. O primeiro tem como principal objectivo manter a integridade física, química e microbiológica dos cursos de água. O segundo tem como principal enfoque a homologação da qualidade da água potável nos Estados Unidos da América.

As linhas de orientação da OMS, de 1989, publicadas no primeiro rascunho da “Wastewater use in agriculture: guidelines for the use of wastewater excreta and greywater”, reconhecem os benefícios resultantes do uso apropriado de água residual tratada na agricultura e ambiciona promover o uso seguro da água residual. Os parâmetros impostos nestas linhas de orientação são indicadores microbiológicos de poluição fecal.

As actividades de reutilização da água residual em países pertencentes à União Europeia são normalizadas pelas respectivas directivas. A Directiva 91/271/CEE estabelece que a água residual tratada deve ser reutilizada sempre que for apropriado e que os locais de deposição devem minimizar os efeitos ambientais adversos. A mesma afirmação consta no Decreto-Lei n.º 152/97, cujo objectivo é a protecção das águas superficiais dos efeitos das descargas de águas residuais urbanas. Ou seja, provavelmente por ainda não ter sido reconhecida essa necessidade, a reutilização de águas residuais em Portugal e respectiva regulamentação ainda se encontra num estado imaturo.

Em 2005 foi publicada a Norma Portuguesa NP 4443: “Norma sobre reutilização de águas residuais tratadas para rega”, o que representou um importante contributo para a prática sustentável da reutilização de águas residuais para rega porque define os requisitos de qualidade da água a reutilizar, encaminha a escolha dos processos e equipamentos de rega a usar e os procedimentos de monitorização ambiental da zona potencialmente afectada por essa rega.

Dentro dos vários documentos de regulamentação da reutilização encontra-se uma enorme disparidade de critérios, que variam de documento para documento, para um vasto conjunto de possíveis reutilizações que podem ser reutilização agrícola, reutilização urbana, irrigação de áreas com acesso restrito, reutilização para fins recreativos, reutilização para a construção, reutilização ambiental, reutilização industrial, recarga de aquíferos ou reutilização de água potável indirecta.

A reutilização agrícola é abordada tanto por documentos da EPA e da OMS como pela Norma NP4344. Enquanto a EPA divide esta reutilização em dois subtipos, culturas comestíveis e culturas não comestíveis, enumerando 5 critérios de qualidade das águas a reutilizar de acordo com a Tabela 2.8, a OMS (2006) divide a aplicação em irrigação de zonas restritas, não acessíveis e zonas não restritas limitando o número de ovos de Helmintas a valores inferiores a 1/1 para ambos e o parâmetro *E. coli* limitado a  $10^3/100$  ml para as zonas não acessíveis e  $10^5/100$  ml para as zonas não restritas.

Tabela 2.8 - Critérios de qualidade exigidos para reutilização agrícola (EPA, 2004)

Culturas comestíveis	Culturas não comestíveis
pH: 6-9	pH: 6-9
CBO≤10 mg/l	CBO≤30 mg/l
NTU≤2	SST≤30 mg/l
CF não detectáveis	CF<200 UFC/100 ml
Cloro residual≥1 mg/l	Cloro residual≥1 mg/l

Em Portugal, a norma NP4344, sobre reutilização de águas residuais tratadas para rega, refere que os critérios de qualidade da água não deverão ser menos restritos que os valores máximos admissíveis indicados no Decreto-Lei nº 236/98 de 1 de Agosto que refere os parâmetros listados no Quadro 7.1. em anexo, a analisar em águas para rega. O mesmo documento lista como parâmetros limitantes para a qualidade da água para rega o pH, a Salinidade, a razão de absorção do sódio e SST.

A reutilização urbana é definida pela EPA como sendo todo o tipo de irrigação de espaços verdes, lavagem de veículos, recarga de autoclismos, combate a incêndios e lavagem de pavimentos. Os critérios de qualidade para esta aplicação estão representados na tabela resumo no final deste subcapítulo.

Portugal não tem ainda definido de forma clara nem os vários tipos de reutilização possíveis nem os respectivos critérios de qualidade. Na EPA (2004) estão definidos critérios de qualidade para outros oito tipos de aplicação de água residual tratada. Encontram-se listados na Tabela 2.9.

Tabela 2.9 – Reutilizações de água residual tratada e respectivos critérios de qualidade (EPA, 2004)

Tipo de reutilização	Critérios de qualidade
Irrigação de áreas com acesso restrito	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 6-9</li> <li>• CBO≤30 mg/l</li> <li>• SST≤30 mg/l</li> <li>• Coliformes fecais &lt; 200UFC/100 ml</li> <li>• Cloro residual ≥ 1 mg/l</li> </ul>
Fins recreativos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 6-9</li> <li>• CBO≤10 mg/l</li> <li>• NTU≤ 2</li> <li>• Coliformes fecais não detectáveis /100 ml</li> <li>• Cloro residual ≥ 1 mg/l</li> </ul>
Construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CBO≤30 mg/l</li> <li>• SST≤30 mg/l</li> <li>• Coliformes fecais &lt; 200UFC/100 ml</li> <li>• Cloro residual ≥ 1 mg/l</li> </ul>
Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CBO≤30 mg/l</li> <li>• SST≤30 mg/l</li> <li>• Coliformes fecais &lt; 200 UFC/100 ml</li> </ul>
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 6-9</li> <li>• CBO≤30 mg/l</li> <li>• SST≤30 mg/l</li> <li>• Coliformes fecais &lt; 200UFC/100 ml</li> <li>• Cloro residual ≥ 1 mg/l</li> </ul>
Potável indirecta	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pH: 6,5-8,5</li> <li>• NTU&lt; 2</li> <li>• Coliformes fecais não detectáveis/100 ml</li> <li>• Cloro residual ≥ 1 mg/L</li> </ul>

A reutilização industrial inclui o uso de água tratada para água de processo, torres de arrefecimento e como água de compensação em caldeiras. A reutilização potável indirecta remete para a recarga de aquíferos e exige tratamento secundário do efluente.

No que diz respeito à reutilização de águas cinzentas especificamente os documentos orientadores ou normativos são bastante mais escassos e vagos.

No cenário global, o Japão, os EUA e a Austrália mantêm a liderança na reutilização de águas cinzentas, no entanto, países como o Canadá, o Reino Unido, a Alemanha e a Suécia estão

envolvidos nesta pesquisa. Os EUA e a Austrália são os países nos quais a reutilização de águas cinzentas está regulamentada e legalizada, situação evidente tanto no “California pumping code” como no “Australian general guidelines for domestic GW reuse”

Cada país tem uma força motriz diferente para a adopção do processo de reutilização de águas cinzentas. Enquanto que no Japão é a densidade populacional extremamente elevada, nos EUA, Austrália e Arábia Saudita são as condições de aridez.

Em Tóquio a reciclagem de águas cinzentas é obrigatória para edifícios com superfície superior a 30000 m<sup>2</sup> ou com um potencial de reutilização das mesmas superior a 100 m<sup>3</sup>/dia. As aplicações previstas são descargas de autoclismos, uso recreacional e uso paisagístico, sendo exigidos valores de turvação inferiores a 2 NTU para as três aplicações previstas, valores de coliformes totais não detectáveis para as duas primeiras aplicações e valores inferiores a 1000 cfu/100ml para a última (Tajima, 2005).

Em Espanha, a reutilização de águas residuais tratadas está regulamentada no Real-Decreto 1620/2007 para fins urbanos residenciais, assegurando os seguintes parâmetros e respectivos valores limite: concentração de SST inferior a 10 mg/l, turvação inferior a 2 NTU, *E. coli* e nematodes 1 ovo/10L.

Ordenanza Municipal Marco para gestión y uso eficiente del agua en Lanzarote refere, como medida para o uso eficiente da água, a utilização de recursos hídricos alternativos através das seguintes medidas: sistemas de captação, armazenamento e tratamento de águas pluviais, reciclagem de águas cinzentas em edifícios plurifamiliares e hotéis e sistemas de reutilização de águas de piscinas. Restringe o uso de águas cinzentas recicladas à recarga de autoclismos e à irrigação de zonas verdes, sendo expressamente proibida a rega por aspersão. Já a Ordenanza municipal marco das Asturias obriga todos os edifícios residenciais com mais de 24 apartamentos, em que seja previsível um consumo anual de águas em duches e banhos superior a 3000 m<sup>3</sup>, a estarem equipados com um sistema de tratamento de águas cinzentas.

O Decreto 21/2006 de 14 de Fevereiro da Província da Catalunha regula a adaptação de critérios ambientais e de ecoeficiência nos edifícios exige que todos os edifícios com data de construção posterior prevejam sistema de recolha e aproveitamento de águas cinzentas e da chuva.

Nos Estados Unidos da América, a reutilização urbana das águas está regulamentada e os parâmetros físico-químicos e biológicos bem definidos: valores de pH entre 6 e 8, turvação inferior a 2 NTU, cloro residual superior a 1 ppm, CBO<sub>5</sub> inferior a 10 mg O<sub>2</sub>/l e coliformes fecais. (USEPA, 2004).

Em 1997, a Building Standards Commission aprovou a revisão dos California Graywater Standards. A principal alteração significativa traduz-se no facto de os sistemas de águas cinzentas poderem ser utilizados em projectos comerciais, industriais e multi-familiares, como também em residências uni-familiares.

Na Austrália existe um documento que regulamenta a reutilização de águas cinzentas para irrigação superficial, descargas de autoclismos, lavagem de roupa e lavagem de carros e que exige a verificação dos seguintes parâmetros: concentração de SST inferior a 30 mg/l, CBO<sub>5</sub> inferior a 20 mgO<sub>2</sub>/l e coliformes fecais inferior a 10 CFU/100 mL.

No “Australian General Guidelines for Domestic Greywater Reuse”, o tratamento exigido é apenas secundário, sendo que uma das restrições é a reutilização da água tratada em autoclismos.

A regulamentação mais recente, publicada em Março de 2007 pelo Department of Energy, Utilities and Sustainability do Governo de South Wales Government, é o *Guidelines for Greywater Reuse in Sewered, Single Household Residential Permisses*, que fornece informações e orientações sobre a utilização de dispositivos associados à reutilização de águas cinzentas. Neste documento a reutilização de águas cinzentas *indoor* já se encontra regulamentada, sendo importante referir que as águas residuais provenientes da cozinha não serem consideradas como águas cinzentas. Este documento define ainda dois caudais principais componentes das águas cinzentas. Um proveniente da casa de banho, que representa cerca de 59% do volume total de água cinzenta reutilizável de uma habitação, no qual a contaminação com cabelos, sabonetes, champôs, pasta de dentes, óleos e produtos de limpeza é provável. O outro caudal é a água cinzenta proveniente da lavagem de roupa que comporta cerca de 41% do volume total de água cinzenta reutilizável de uma habitação, cujas possíveis contaminações englobam fibras, gorduras, detergentes, químicos e sabões.

Em Portugal, a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais elaborou uma especificação técnica para sistemas de reutilização de águas cinzentas, que reúne as definições dos vários tipos de águas, discrimina os capítulos a incluir no Plano de segurança necessário para a certificação do sistema e lista um conjunto de parâmetros que as águas cinzentas tratadas deverão garantir consoante o tipo de aplicação: descarga de autoclismos, lavagem de roupa, rega de plantas ou infiltração no solo ou descarga directa em linhas de água. A concentração máxima admissível de sólidos suspensos é de 10 mg/l e o valor de coliformes totais é de 1000 cfu/100 ml, para todas as aplicações. As exigências para o parâmetro coliformes fecais diferem consoante a aplicação sendo que é de apenas 200 cfu/100 ml para irrigação e de 1000 cfu/100 ml para recarga de autoclismos e lavagem de roupas. Para reutilização para irrigação existem dois parâmetros adicionais a assegurar: *salmonellae* e *legionella spp.*

Os critérios de qualidade de água tratada para reutilização em irrigação de plantas em jardins privados, exigidos pela especificação técnica em questão encontram-se listados na tabela 2.10 abaixo.

Tabela 2.10 - Requisitos de qualidade para rega de jardins privados (ANQIP, 2011).

Parâmetro	VMA	VMR
<i>Legionella spp.</i>	100 UFC/100 ml	--
Coliformes totais	--	10 <sup>4</sup> UFC/100 ml
Estreptococos fecais ( <i>Enterococos</i> )	100 UFC/100 ml	--
Coliformes fecais ( <i>Escherichia coli</i> )	200 UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
<i>Salmonellae</i>	Não detectável	--
Parasitas entéricos	1 ovo/10 l	Não detectável
Sólidos em suspensão	10 mg/l	--
Turvação	2 UNT	--

A Tabela 2.11 lista os critérios de qualidade da água tratada para reutilização em recarga de autoclismos e lavagem de roupa.

Tabela 2.11 - Requisitos de qualidade para descarga de autoclismos (ANQIP, 2011)

Parâmetro	VMA	VMR
Coliformes totais	--	10 <sup>4</sup> UFC/100 ml
Estreptococos fecais ( <i>Enterococos</i> )	400 UFC/100 ml	--
Coliformes fecais ( <i>Escherichia coli</i> )	10 <sup>3</sup> UFC/100 ml	0 UFC/100 ml
<i>Pseudomonas aeruginos</i>	1 ufc/ml	--
Parasitas entéricos	1 ovo/10 l	Não detectável
Sólidos em suspensão	10 mg/l	--
Turvação	2 UNT	--

A concepção, instalação e exploração dos sistemas para reutilização de águas cinzentas devem respeitar as normas e regulamentos nacionais e europeus aplicáveis a estas instalações ou a qualquer dos seus componentes, incluindo a legislação sobre a qualidade da água. No que se refere ao dimensionamento, em particular, devem ser atendidas, nas partes aplicáveis, as disposições do Regulamento Geral Português em vigor ou as Normas Europeias EN 12056-2 e EN806-3. Todos os SPRAC deverão ser objecto de um projecto, cuja elaboração deve respeitar, nas partes aplicáveis, as exigências da portaria n.º 701-H/2088, de 29 de Julho (ANQUIP, ETA 0905, 2011).

A Tabela 2.12 resume a documentação normativa variada sobre a reutilização de águas cinzentas em vários países espalhados pelo mundo.

Tabela 2.12 - Lista de Regulamentações/orientações para reutilização de água

País	Tipo de Reutilização	Parâmetros físico-químicos	Parâmetros microbiológicos (CFU/100 ml)		Referencia bibliográfica
Austrália	Irrigação, recarga de autoclismos, lavagens de roupa e carro	SST < 30 mg/l CBO <sub>5</sub> < 20 mg/l	Coliformes fecais	<10	(Australian capital territory 2004)
Canadá	Águas domésticas recicladas	SST < 10 mg/l Turvação < 2 NTU CBO <sub>5</sub> < 10 mg/l Cl <sub>2</sub> residual > 0.5 mg/l	Coliformes termotolerantes <i>E. coli</i>	ND ND	Canadian Guidelines 2010
Alemanha	Recarga de Autoclismo	SST~0 Turvação ~0 CBO <sub>7</sub> <5 mg O <sub>2</sub> /l OD > 50%	Coliformes totais Coliformes fecais <i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<100/ml <10/ml <1/ml	(Nolde 1999)
Israel	Regulação para tratamento de Águas residuais	SST <10 mg/l CBO <sub>5</sub> <10 mg/l CQO < 100 mg/l	-	-	(Ramon, 2004)
Itália	Irrigação; uso urbano	pH: 6 – 9.5 SST <10 mg/l CBO <sub>5</sub> <20 mgO <sub>2</sub> /l CQO <100 mgO <sub>2</sub> /l P total <2 mgP/l N total <15 mgN/l	<i>Salmonella</i>	ND	2 maggio 2006
Espanha	Reutilização Urbana Residencial	SST <10 mg/ Turvação <2 NTU	<i>E. coli</i> Nematodes	<0 1 ovo/10L	Real-Decreto 1620/2007
EUA	Reutilização urbana	pH: 6-9 Turvação <2 NTU Cl <sub>2</sub> residual > 1ppm CBO <sub>5</sub> < 10 mgO <sub>2</sub> /l	Coliformes fecais	0	(USEPA, 2004)

ND - Não detectáveis;



Os parâmetros de qualidade exigidos com maior incidência nos documentos de regulamentação dos países listados são CBO, SST e turvação. A regulamentação portuguesa incide mais nos agentes parasitas do que no teor de matéria orgânica.

## 2.5. Constrangimentos da Reutilização

O principal constrangimento a esta prática prende-se com a opinião pública e respectiva falta de conhecimento e consequente receio associado ao uso.

Legget *et al.* (2001) identificou três barreiras a esta prática:

- Preocupação com a segurança e qualidade da água cinzenta tratada e riscos para a saúde.
- Incertezas em relação à confiança do sistema de tratamento.
- Falta de uma análise custos-benefícios.

Alfiya *et al.*, (2012), testaram três tipos de águas de rega em canteiros com azevém: água potável, água cinzenta bruta e água cinzenta tratada. A razão de absorção de sódio, a condutividade, o pH e a alcalinidade registadas para os três fluidos de irrigação não diferiram muito. Registou-se a acumulação de surfactantes nos canteiros irrigados com águas não potáveis que pode levar a alguma hidrofobicidade do solo. Apesar de ambas as águas cinzentas conterem coliformes fecais estes não foram detectados nas águas de drenagem dos canteiros. Nenhuma das plantas evidenciou sinais de stress. Este facto pode ser explicado pelo facto de se ter usado águas cinzentas provenientes de duchas e lavatórios neste caso de estudo.

Finley *et al.*, (2009), estudaram a relação entre a irrigação de legumes caseiros com águas cinzentas tratadas e águas cinzentas brutas e água potável. O tratamento da água cinzenta consistia apenas numa simples decantação seguida de filtração lenta. A presença de coliformes fecais e *Streptococcus* fecais foi analisada nos legumes maduros e apesar de estes estarem presentes nas águas cinzentas,  $4 \times 10^5/100$  mL e 2,00/100 m, respectivamente. No entanto a presença destes compostos nestas águas não se reflectiu em resultados diferenciados nos legumes irrigados com estas águas e os legumes irrigados com água potável. Nem o crescimento nem a produtividade das plantas foi afectado pela qualidade da água. isto pode ser o resultado dos reduzido teor de N, P e K.

### 2.5.1. Potenciais riscos para a saúde

Os riscos para a saúde associados ao uso de água cinzenta não tratada provêm da presença de uma variedade de microrganismos (bactérias, parasitas e vírus) e a potencialidade de re-desenvolvimento e persistência no sistema de transporte e nos sistemas de tratamento. A lista de agentes patogénicos cuja presença é conhecida nas águas cinzentas inclui: *E. Coli*, *Salmonella typhi*, *Poliovirus*, *Entamoeba histolytica*, *Giardia intestinalis* e alguns germes intestinais. A somar a estes riscos existem as doenças provocadas pelo vector mosquitos em águas estagnadas. De acordo com a Organização mundial de saúde (WHO, 2001), a gestão de risco envolve quatro passos conceptuais: identificação do perigo; tipo de exposição; tipo de resposta; e caracterização do risco.

Efeitos da reutilização de águas cinzentas:

- Na Saúde Humana – a água cinzenta pode estar contaminada com excrementos humanos através dos banhos e lavagem de roupa. A contaminação química e biológica da água cinzenta apresenta um risco potencial para a saúde humana que é acrescido com o crescimento microbiano (OMS, 2006).
- Nas plantas – O uso de água cinzenta para irrigação de plantas é vulgar, o que pode ser benéfico devido a alguns dos seus constituintes (azoto e fósforo) mas também pode ser prejudicial devido à presença de sódio e cloro.
- No Solo – os principais efeitos da água cinzenta na água são a tendência de aumentar a alcalinidade e salinidade dos solos, diminuição da capacidade de retenção e absorção de água e o aumento da alcalinidade do solo devido à presença de sódio, potássio ou sais de cálcio, provenientes de detergentes.
- No ambiente – o principal risco resultante da reutilização de águas cinzentas é a poluição das águas subterrâneas.

Segundo o estudo realizado por Eriksson *et al.* (2006) as águas cinzentas não tratadas, principalmente devido aos fluxos provenientes da cozinha e da lavagem de roupa, provocam efeitos de foto-toxicidade em algas.

O armazenamento de águas cinzentas é um elemento importante em todos os sistemas de reciclagem de águas cinzentas, visto que é incontornável, seja anteriormente ou posteriormente ao tratamento. O tempo de armazenamento não deve ultrapassar as 48 horas, no entanto, um tempo de 24 horas é benéfico ao tratamento, na medida em que, permite a redução de CQO e SST por decantação. A água cinzenta por tratar sofre alterações significativas na sua qualidade provocadas

por três factores: sedimentação da matéria orgânica particulada e insuficiência de oxigénio dissolvido (devido ao crescimento de biomassa aeróbia), e libertação de CQO solúvel devido a processos de degradação anaérobica (Dixon *et al.*, 1999b).

### 2.5.2. Destino e Tratamento de Águas negras

As águas negras são águas muito carregadas com uma razão CBO<sub>5</sub>/CQO de 0,66 que viabiliza o seu tratamento biológico (Van der Voorthuizen, 2008). A sua composição está representada na Tabela 2.13.

Tabela 2.13 - Composição das águas negras (Van der Voorthuizen, 2008)

Parâmetro	Valor (mg/L)
CBO <sub>5</sub> /CQO	0.66
CQO total	1405
CQO suspenso	725
CQO coloidal	320
CQO solúvel	673
N total	185
NH <sub>4</sub>	170
P total	122
PO <sub>4</sub>	43

Como consequência do conceito de separação na fonte, existem uma série de soluções de tratamento para as águas negras acopladas a dispositivos inovadores para o efeito, incluindo sistemas com o intuito de poupar o recurso água. O tratamento das águas negras pode ser anaeróbio (por exemplo em reactores UASB - upflow anaerobic sludge blanket), aeróbio e físico (secagem), obtendo-se como produto resultante fertilizante ou composto, com possibilidade de aplicação na agricultura (Otterpohl, 1999). A digestão anaeróbia consiste na conversão biológica (fermentação) na ausência de oxigénio, de substratos orgânicos a metano e dióxido de carbono (principais gases do chamado biogás), através de associações simbióticas entre diferentes grupos de bactérias, sendo normalmente descrita por quatro fases: hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese.

Outras soluções de tratamento deste fluxo são os reactores de membrana, MBR, aeróbio e anaeróbio que Van der Voorthuizen *et al.* (2008) compararam com um sistema de tratamento com

um UASB seguido de filtração do efluente para tratar águas negras provenientes de uma escola. Na Figura 2.7 estão representados os três sistemas. O primeiro resume-se a um reactor UASB com uma unidade de ultra-filtração, os outros diagramas remetem para os dois reactores de membranas.

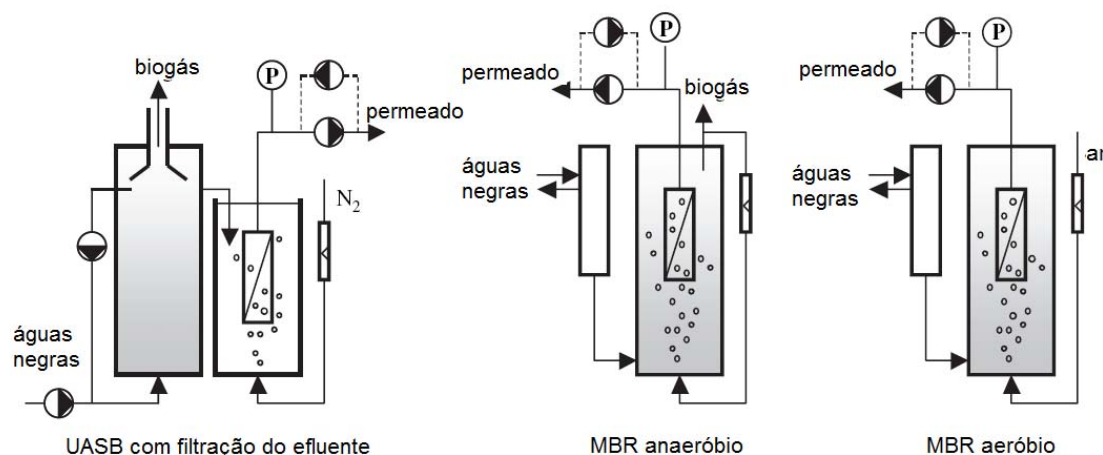


Figura 2.7 - Diagramas de sistemas de tratamento de Águas negras (adaptado de Van der Voorthuizen e tal. 2008).

Através da análise da tabela 2.14 que resume as características dos vários efluentes resultantes dos três tipos de tratamento de águas negras apresentados previamente, verifica-se que a concentração de nutrientes é muito elevada o que potencia a hipótese de recuperação de nutrientes através de processos físico-químicos. Entre outros, os mais utilizados são: permuta iónica, electrodialise, nanofiltração ou osmose inversa.

Tabela 2.14 - Caracterização físico-química dos efluentes resultantes do tratamento biológico por UASB, MBR aeróbio e MBR anaeróbio (Van der Voorthuizen, 2008).

	Afluente	Efluente		
		UASB + UF	MBR anaeróbio	MBR aeróbio
CQO total	1405	104	159	98
P total	118	112	113	119
N total	175	151	163	147

Uma vez que o caudal correspondente a este fluxo é muito inferior ao caudal de águas cinzentas, cerca de 25% da captação contra os cerca de 70% correspondentes à produção de águas cinzentas, o seu potencial de tratamento e posterior reutilização é bastante inferior. Outra

condicionante a estes aspectos é a dimensão do edifício ou infra-estruturas produtoras do luxo – um edifício habitacional ou uma urbanização produzem um caudal de águas negras superior que viabiliza tanto a aplicação de soluções comerciais para o seu tratamento como também o potencial e benefício da sua reutilização.

## **2.6. Infra-estruturas de drenagem e estruturas distribuição**

Para proceder à recolha selectiva deste fluxo é necessária a instalação de um sistema de drenagem dedicado que serve de transporte para um sistema de tratamento que por questões económicas e de espaço físico geralmente requer a instalação de um tanque de equalização de caudal. O consumo de água tratada também está dependente do perfil de consumo dos respectivos consumidores e implica a existência de um reservatório de água regenerada que geralmente está localizado na cota mais elevada da infra-estrutura exigindo a instalação de bombas para elevação da mesma.

Uma vez que as águas cinzentas não atingem parâmetros de qualidade de água potável, é importante salvaguardar o risco associado à contaminação do sistema de abastecimento e distribuição de água potável. Este risco é superior em sistemas de maiores dimensões como é o caso de prédios habitacionais pois a rede de distribuição de água cinzenta tratada é mais extensa e complexa.

As redes de água regenerada deverão ser diferenciadas das redes de abastecimento de água potável e a ANQIP, por meio da ETA 0905 sugere a utilização de tubagem de cor púrpura e a sinalização da mesma com avisos “Água não potável”. Além disso alerta para necessidade de estudo dos hábitos dos habitantes de cada sistema predial para o correcto dimensionamento dos reservatórios, pois este repercute-se na eficiência e qualidade da água regenerada pelo sistema de recolha e tratamento de águas cinzentas.



### 3. SISTEMAS DE TRATAMENTO DE ÁGUAS CINZENTAS

Os sistemas de tratamento podem ser divididos em duas categorias distintas: soluções comerciais e soluções rudimentares. Além desta divisão ambos podem ainda ser agrupados de acordo com o tipo de tratamento:

- Sistemas de reutilização directa (sem tratamento);
- Sistemas com tempo de retenção reduzido;
- Sistemas de tratamento físico-químico básicos;
- Sistemas biológicos;
- Sistemas bio-mecânicos;

Os primeiros sistemas de tratamento de águas cinzentas baseavam-se em sistemas de filtração simples seguidos de uma dosagem de cloro ou bromo. Uma breve análise destes sistemas torna evidente que são menos fiáveis uma vez que a sua eficiência depende do suporte prestado pelo próprio utilizador aquando da dosagem de desinfectantes. Os sistemas comerciais disponíveis no mercado são muito dispendiosos para pequenos caudais de águas cinzentas (Ahmed e tal., 2008). A tecnologia disponível para o tratamento de águas cinzentas varia desde simples sistemas uni-familiares a sistemas de tratamento em larga escala. O tipo de tratamento depende de vários factores, no entanto, o uso do efluente final é determinante. A sua utilização para autoclismo requer tratamento secundário enquanto que o seu uso em irrigação não é tão exigente. A reutilização de águas cinzentas implica, além de um sistema de tratamento, a colecta separada da mesma através de canalizações específicas e posterior distribuição. A título de exemplo, o esquema da Figura 3.1 representa esses dois processos.

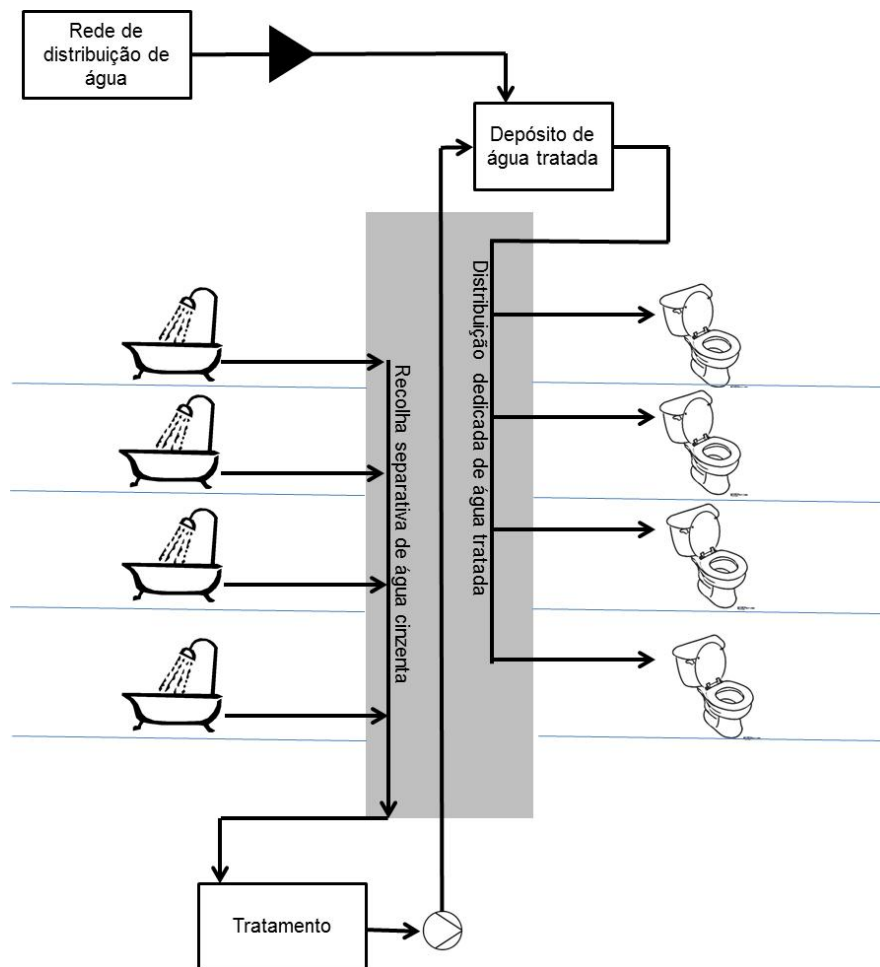


Figura 3.1 – Esquema da drenagem e distribuição da água cinzenta (Friedler *et al.*, 2006).

Uma outra condicionante à escolha do sistema de tratamento é a definição de água cinzenta adoptada (inclusão ou exclusão das águas provenientes da cozinha)

### 3.1. Sistemas de reutilização directa

Nos sistemas de reutilização directa, sem tratamento, a água cinzenta é acumulados por períodos de tempo muito curtos para minimizar o crescimento bacteriano e a deterioração da qualidade da água. Um exemplo deste tipo de sistema é a reutilização directa de águas de banhos (depois de arrefecidas) para irrigação de jardins.



### 3.2. Sistemas de tratamento físico-químico simples

Do ponto de vista histórico, estes são os sistemas de tratamento de águas cinzentas primordiais e mais comuns. A filtração, como operação unitária para remoção de sólidos suspensos está sempre presente podendo ou não ser acompanhada de desinfecção. A desinfecção pode ser química (mais comum) ou física através de sistemas ultra-violeta e tem como objectivo parar o crescimento bacteriano durante a fase de armazenamento.

#### 3.2.1. Filtração

Existem inúmeras soluções comerciais a preconizar sistemas de tratamento com apenas esta operação unitária. A Figura 3.2 exemplifica um sistema compacto que inclui lavatório, autoclismo e sanita e sistema de filtração de águas cinzentas.

Todo o efluente produzido no lavatório é encaminhado para uma rede de drenagem inovadora. Os resíduos de maior dimensão são removidos por um filtro a apenas o fluxo filtrado é recolhido directamente num tanque de tratamento.

Este volume de água é reutilizado na descarga do autoclismo associado.

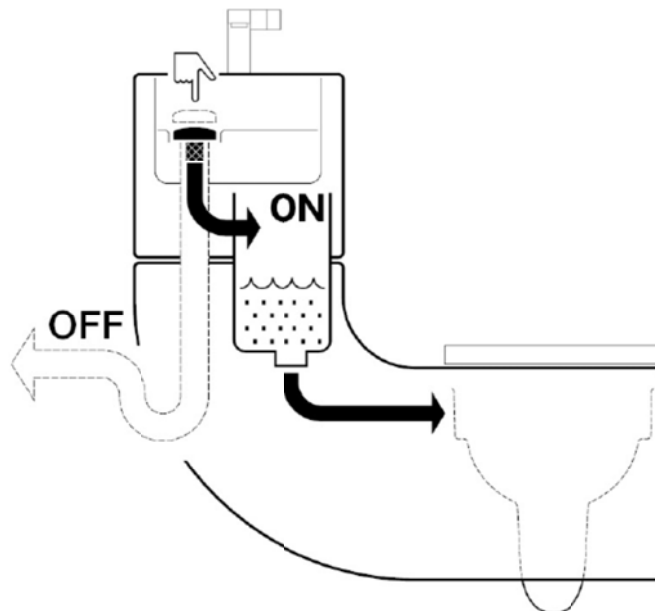


Figura 3.2 - Sistema compacto de lavatório e sanita (Fonte: [www.roca.com](http://www.roca.com), acessado a 15 de Setembro de 2012).

Estes sistemas preconizam um tratamento muito básico das águas cinzentas provenientes de banhos. Estas além de serem recolhidas e temporariamente armazenadas ficam sujeitas a separação física de sólidos através decantação ou/e remoção de flotados. A Figura 3.3 ilustra um sistema comercial deste tipo.



Figura 3.3 - Sistema de tratamento com tempo de retenção reduzido da Ecoplay.

O efluente tratado por este tipo de sistema é reencaminhado graviticamente para os autoclismos.

Friedler *et al.* (2010) testou um sistema com apenas esta operação unitária com vista a poder comparar os resultados com um sistema mais complexo com coagulação e sedimentação.

Com apenas um filtro multicamada de gravilha de quartzo e areia de quartzo conseguiu-se remover entre 50 e 70% da turvação e SST mas a remoção de CQO ou CBO foi ineficaz.

A qualidade do efluente tratado foi inferior ao necessário para viabilizar a sua reutilização (Friedler, 2010).

### 3.2.2. Filtração seguida de desinfecção

Este tipo de sistema corresponde ao método de tratamento mais testado.

Friedler *et al.* (2006b) testaram o tratamento de águas cinzentas através de uma filtração (filtro gravítico com 0.1 m de diâmetro e 0.7 m de altura de quartzo e areia e 0,1 m de gravilha, e obtiveram os seguintes resultados, apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Resultados da experiência de tratamento de águas cinzentas através de uma filtração (Friedler *et al.*, 2006b).

	Turvação (NTU)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	CQO <sub>t</sub> (mg/L)	CQO <sub>d</sub> (mg/L)	CBO <sub>t</sub> (mg/L)	CBO <sub>d</sub> (mg/L)
Água cinzenta	65	92	64	211	108	69	36
Efluente	35	32	26	130	87	62	40
Eficiência de remoção (%)	46	65	59	38	19	10	o

O efluente produzido com este sistema de tratamento não apresenta potencialidade para ser usado para recarga de autoclismos.

Ahmed *et al.* (2008) testou um sistema, adaptado, de acordo com a Figura 3.4, para o tratamento de águas cinzentas provenientes de mesquitas em Oman, com uma produção diária média de águas cinzentas de 1.22 m<sup>3</sup>/dia, composto por um tanque de equalização, seguido de uma filtração grosseira, filtro multi-camadas seguido de uma zona de cloragem (F) e um tanque de recolha de água tratada.

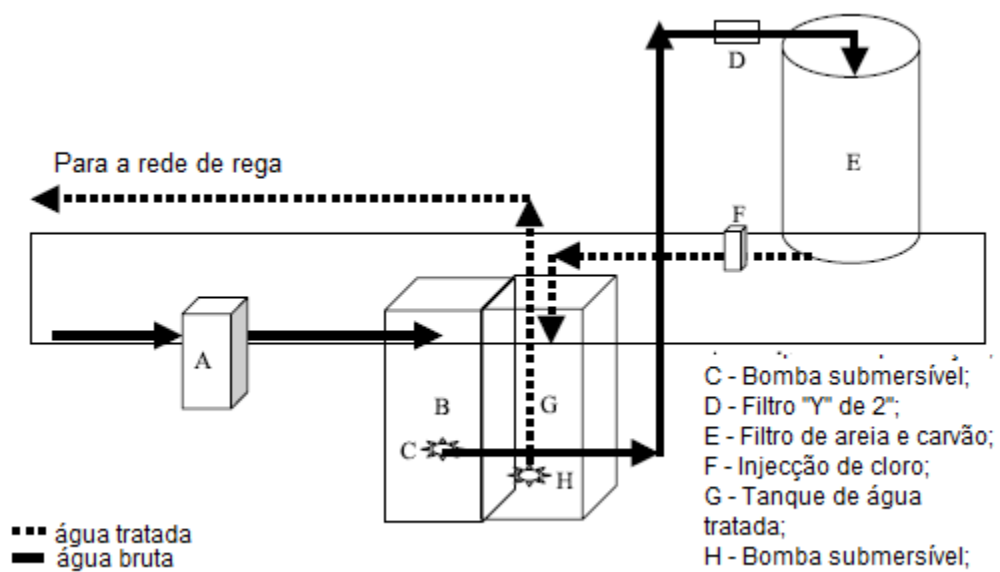


Figura 3.4 - Diagrama Linear do sistema de tratamento adaptado instalado na Mesquita Al-Hail. (Ahmed, *et al.*, 2008).

Este sistema tem um custo aproximado de 2500 USD e apresenta a eficiência expressa na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Sumário dos parâmetros de qualidade da água antes e depois do tratamento adaptado dedicados às águas cinzentas da mesquita de Al Hail (Ahmed, *et al.*, 2008).

Parâmetros Físico-Químicos	Unidades	Valores médios para águas cinzentas recolhidas	Valores médios para a água tratada	Alteração(%)
Temperatura	°C	32	32	--
Oxigénio Dissolvido	mg/l	1.3	3.8	192,3
Turvação	NTU	12.6	6	-52.4
SST	mg/l	9.4	3.7	-60.6
Condutividade	µs/cm	221.4	294.2	32.9
pH	--	7.2	7.86	9.2
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	mg/l	83	115	38.9
Alcalinidade (HCO <sub>3</sub> )	mg/l	82.5	115	39.4
Alcalinidade (CO <sub>3</sub> )	mg/l	0.1	0.3	200
CQO	mg/l	51.5	34.5	-33
Na	mg/l	9.2	16.3	77.2
Ca	mg/l	18	25	38.9
Mg	mg/l	0.4	1.7	325
K	mg/l	4.7	4.9	4.3
F	mg/l	0.5	0.6	20
Cl	mg/l	11.2	15.3	36.6
NO <sub>3</sub>	mg/l	ND	ND	--
SO <sub>4</sub>	mg/l	10.9	5.1	-53.2
Ni	µg/l	<1	<1	-
Cu	µg/l	104.7	16.1	-84.6
Zn	µg/l	13.1	9.7	-26
Cd	µg/l	2.2	<2	-
Mn	µg/l	<2	<2	-
Cr	µg/l	<1	<1	-
Fe	µg/l	<5	<5	-
CBO <sub>5</sub>	mg/l	27.9	15	-46.2
Coliformes	(MPN/100ml)	>200.5	18	--
<i>E. Coli</i>	(MPN/100ml)	38	0	-100

Uma breve análise dos parâmetros registados na Tabela 3.2 permite verificar uma significativa melhoria de alguns parâmetros tais como: oxigénio dissolvido, turvação, SST, CBO<sub>5</sub> e coliformes.

Santos *et al.* (2012) basearam o seu estudo num sistema com metodologia semelhante às descritas anteriormente com a particularidade de terem optado por um sistema de desinfecção por radiação ultravioleta. É composto por: tanque de recolha de águas cinzentas, electrobombas para elevação das mesmas para filtro de malha de 0.025 mm de limpeza automática, unidade de desinfecção Micropal UV40. É importante referir que por forma a avaliar a performance do filtro a malha do mesmo foi alterada a meio da fase de recolha de dados sendo a malha inicial de 0.130 mm. Foram recolhidas amostras de efluente em três fases do processo: tanque de recolha de águas cinzentas, antes do sistema de desinfecção dos ultra-violeta e após todas as fases de tratamento. Foram analisados: pH, SST, SSV, ST, NH<sub>3</sub>, Fósforo total, CQO, CBO, coliformes fecais e coliformes totais.

O custo de investimento deste sistema foi de 2350 euros e a eficiência do sistema foi satisfatória em todos os parâmetros analisados com excepção dos SST e CBO<sub>5</sub> que atingiram valores muito elevados.

Esta fragilidade deste sistema poderia ser colmatada através da introdução de uma malha mais fina de filtração ou até mesmo com a aplicação de um coagulante no tanque de recolha de águas cinzentas para promover a aglomeração da matéria orgânica e promover a eficiência do filtro (Santos, 2012).

A utilização de lâmpadas ultravioleta que apresenta uma série de vantagens, que incluem: dispensa a adição de químicos, maior eficiência na eliminação de agentes patogénicos, abrange um maior número de espécies patogénicas, os tempos de contacto são mais curtos, os custos de capital e operação são baixos, a operação é simples com manutenção mínima e, consequentemente, apresenta maior segurança para o operador. Geralmente, a eficiência da desinfecção por ultravioleta está dependente de dois factores principais: a sensibilidade dos microrganismos à radiação UV e a dose de UV recebida pelos microrganismos. A qualidade da água cinzenta afluente é o factor-chave para alcançar uma desinfecção bem sucedida. Os limites de turvação e SST máximos, para que a água possa ser desinfectada por ultravioleta, são 125 NTU e 60 mg/L, respectivamente (Fenner *et al.*, 2005).

A cloragem das águas cinzentas é um bom método de desinfecção uma vez que garante a presença de um agente desinfectante residual, no entanto, a sua eficiência é afectada por muitos factores, sendo os mais influentes para esta aplicação: sabonete, bactérias e matéria coloidal (March, 2009).

### 3.2.3. Conjugação de Coagulação com sedimentação e filtração

Para complementar a filtração das águas cinzentas recolhidas num edifício do Instituto de Tecnologia de Israel, Friedler *et al.* (2010) introduziu dois processos unitários adicionais representados na Figura 3.5: a coagulação e a filtração.

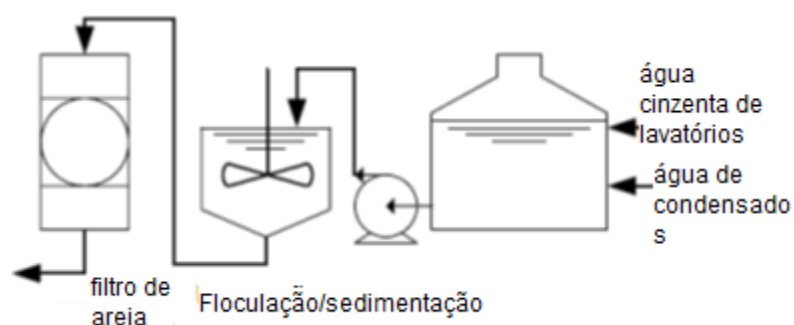


Figura 3.5 - Sistema de Tratamento por coagulação, sedimentação e filtração (Friedler, 2010).

Como coagulante, optou-se por Cloreto Férrico com uma dose de 22mg Fe/l, e o tempo de decantação foi de trinta minutos.

A coagulação seguida de decantação assegurou eficiências de remoção significativas de SST e turvação (88 e 89% respectivamente), produzindo um efluente de elevada qualidade. A remoção de CQO total, CQO solúvel e CBO foi de 56, 77 e 51%, respectivamente. O filtro acabou por ter uma função complementar permitindo a produção de um efluente de elevada qualidade relativamente à turvação e à concentração de SST e de qualidade média e insuficiente quanto à CQO e CBO (Tabela 3.3).

Tabela 3.3 - Eficiências atingidas com o tratamento de águas cinzentas por coagulação, sedimentação e filtração (Friedler, 2010).

Parâmetro	Unidade	Concentração	Eficiência de remoção
Turvação	NTU	3.9	92%
SST	mg/l	4.4	94%
CQO <sub>t</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	63	65%
CQO <sub>s</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	31	79%
CBO <sub>5</sub>	mg-O <sub>2</sub> /l	44	57%

Coutinho (2009) testou a aplicação de bentonite no tratamento da água cinzenta. É um mineral de argila com uma superfície específica muito elevada, com elevada capacidade de troca catiónica, o que juntamente com o seu baixo custo e elevada abundância potencia a sua utilização. A Figura 3.6. ilustra de forma esquemática o sistema de tratamento em causa.

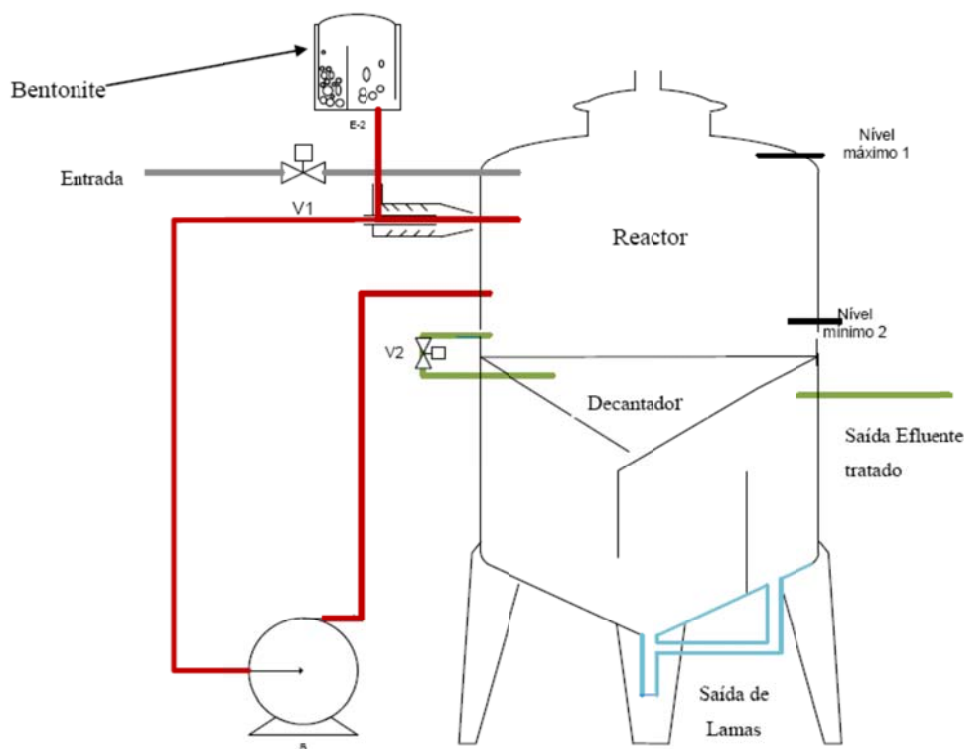


Figura 3.6. - Esquema representativo do protótipo do sistema de tratamento com bentonite (adaptado de Coutinho, 2009).

No reactor acumula-se a água cinzenta produzida e efectua-se a sua mistura com a bentonite. Ainda nesta fase do processo de tratamento, é induzida uma recirculação de lamas neste órgão por meio de um grupo electrobomba. A segunda fase do tratamento dá-se na zona do decantador onde é recolhido o efluente tratado e as lamas produzidas.

No entanto este método de tratamento não prepara as águas cinzentas para a sua reutilização, face aos limites legais exigidos. O aumento do teor em SST devido à adição de bentonite é evidente e este protótipo não viabiliza a remoção dos mesmos pelo que teria de se adicionar um processo de filtração ao sistema- (Coutinho, 2009).



### 3.2.4. Nanofiltração

Com o objectivo de comparar este processo de tratamento com um reactor de membranas, Humeau *et. al* (2011), testaram-no com água cinzenta sintética. O sistema consiste numa nanofiltração directa, a 35 bar, com membranas AFC 80 (ITT) a operar com uma taxa de filtração de  $26 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$ .

Um caso de estudo semelhante foi desenvolvido por Hourlier *et al.* (2010) utilizando um sistema Microlab 40 com uma taxa de filtração de  $54,8 \text{ Lh}^{-1}\text{m}^{-2}$  e com um esquema de funcionamento semelhante ao ilustrado na Figura 3.7, operado à mesma pressão do caso de estudo anterior. Os resultados estão apresentados na Tabela 3.4.

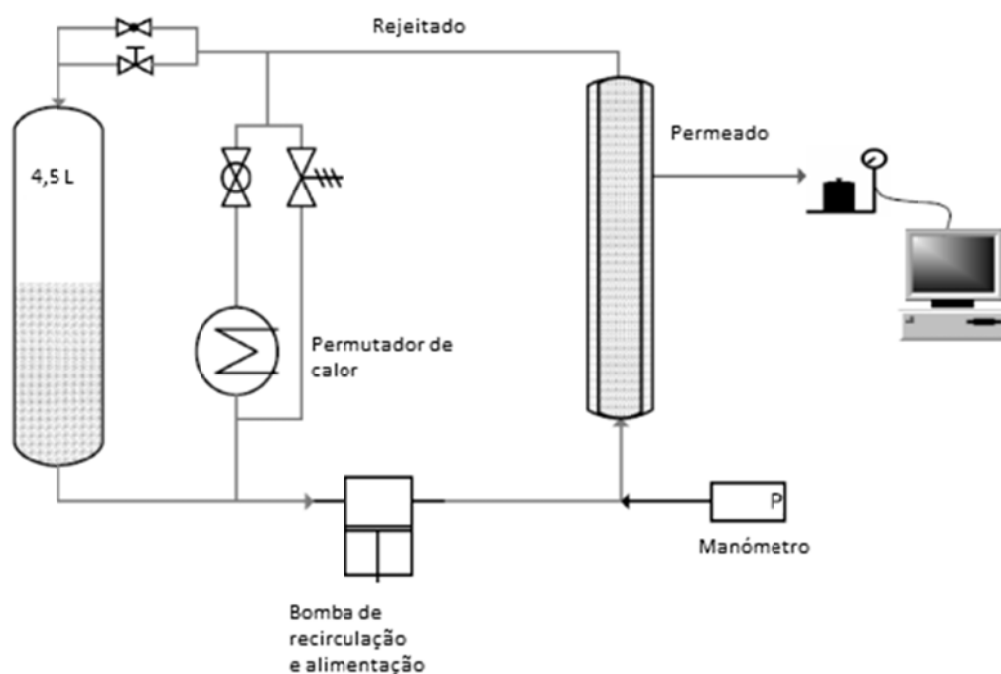


Figura 3.7 - Diagrama linear de um sistema de tratamento de águas cinzentas por nanofiltração (Hourlier, 2010)

Tabela 3.4 - Resultados obtidos no tratamento de água cinzenta sintética por Nanofiltração directa (Humeau, 2011) (Hourlier, 2010)

Parâmetro	Água Cinzenta Sintética (Humeau, 2011) and (Hourlier, 2010)	Efluente tratado (Humeau, 2011)	Efluente tratado (Hourlier, 2010)
Turvação (NTU)	24.1	0.5	<1
Sólidos Suspensos (mgL <sup>-1</sup> )	71.8	2	--
CQO (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	454	184	77
CBO <sub>5</sub> (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	65	4	2
Surfactantes (mg MBAS L <sup>-1</sup> )	49	1	2
Coliformes fecais (CFU.100 mL <sup>-1</sup> )	9.6x10 <sup>3</sup>	ND	ND
<i>Enterococcus</i> (CFU.100 mL <sup>-1</sup> )	2.7x10 <sup>3</sup>	ND	ND

ND, não detectado.

Nos resultados do estudo de Humeau *et al.*, (2011) a eficiência de remoção de CQO é muito limitada (aproximadamente 60%), sendo o valor de CQO presente no efluente final muito elevado, inviabilizando o reaproveitamento deste efluente de acordo com a maior parte do enquadramento normativo descrito no capítulo 2. No outro caso, as eficiências de retenção são muito satisfatórias contrariando os resultados do estudo de Humeau *et al.*, 2011.

Os custos de investimento de um sistema destes para 50 e 500 habitantes equivalentes são de 39100 € e 141200 €, respectivamente. No entanto este tipo de sistema implica quantificar custos de exploração e manutenção consideráveis associados à manutenção e inspecção dos mesmos, aquisição de consumíveis para limpeza, consumo energético e substituição anual de membranas que resulta nos seguintes custos específicos para 50 e 500 habitantes equivalentes: 7.8 € /m<sup>3</sup> e 4.82 €/m<sup>3</sup> (Humeau, 2011).

Este diferencial de custos, coincidente com a lógica de economia de escala, verifica a importância da dimensão da área na escolha do sistema de tratamento de águas cinzentas.

### 3.2.5. Electrocoagulação

O processo de electrocoagulação representa uma alternativa aos métodos convencionais, com a vantagem de ser compacto e competitivo economicamente. (Chin *et al.*, 2005) A Figura 3.8. ilustra o sistema de tratamento de águas cinzentas ensaiado por Chin *et al.*, 2005. A primeira etapa do processo de tratamento é a adição de NaCl e H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> para ajustar a Condutividade e o pH. A célula de electrólise é composta por um par de eléctrodos monopolares exteriores e inúmeros eléctrodos bipolares internos. As escumas são posteriormente separadas através da flotação com o auxílio de bolhas gasosas.

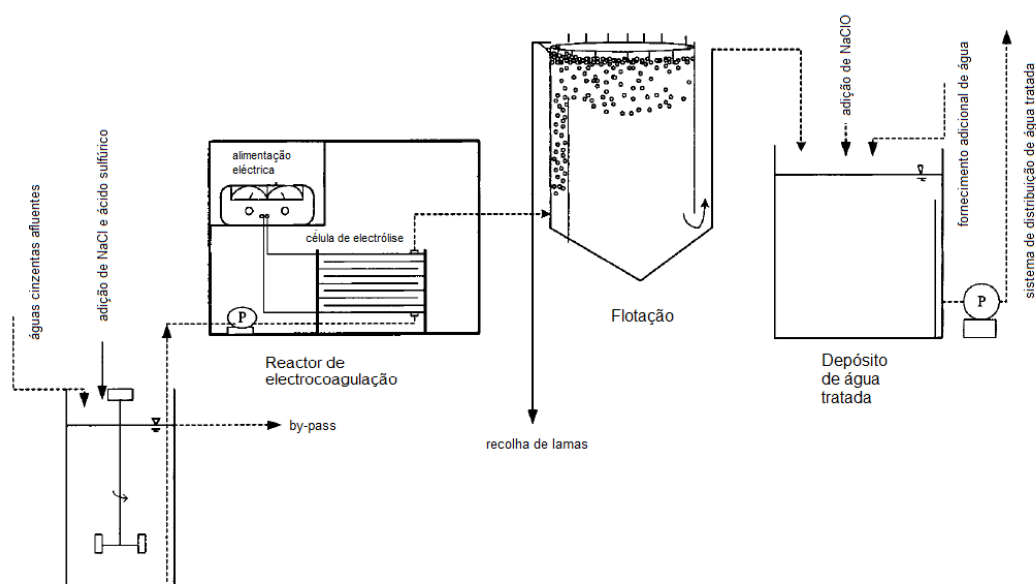


Figura 3.8 – Diagrama linear de um sistema de tratamento por electrocoagulação (Chin, 2005).

### 3.2.6. Resina de permuta iónica magnética (magnetic ion exchange resin)

Pidou *et al.* (2008) testou o tratamento de águas cinzentas provenientes de águas de duchas recolhidas numa residência universitária com uma nova resina de permuta iónica magnética, MIEX<sup>®</sup>, que tem um componente magnético na sua estrutura que facilita a aglomeração e fixação

Mesmo usando uma dose de resina de 10 ml/l, os valores de CQO, CBO e COD da água tratada não apresentaram valores inferiores a 272, 33 e 78 mg/L respectivamente.

### **3.3. Sistemas Biológicos**

Os sistemas biológicos de tratamento de águas cinzentas variam muito nos mecanismos envolvidos mas partilham o mesmo conceito básico: remoção da matéria orgânica presente nas águas através do crescimento bacteriano.

O processo biológico mais comum é aeróbio, sendo as águas cinzentas arejadas através da presença de oxigénio com o objectivo de promover o crescimento bacteriano e consequente decomposição da matéria orgânica presente nas águas cinzentas.

#### **3.3.1. Sistemas de tratamento de águas cinzentas por Leitos de Macrófitas**

Os leitos de macrófitas são descritos como o sistema naturais de tratamento de águas residuais que combinam os processos de tratamento biológicos, químicos e físicos. São caracterizadas quanto ao tipo de fluxo: superficial e sub-superficial. As principais vantagens do segundo tipo são a diminuição do odor, da presença de mosquitos e risco de contacto com o ser humano. Os leitos de macrófitas são também designados por zonas húmidas, com fluxo sub-superficial ou superficial para o tratamento biológico de águas residuais. O tratamento baseia-se no crescimento cooperativo entre as plantas e os microrganismos associados às plantas, responsáveis pela degradação da matéria orgânica. Uma vez estabelecidos nas raízes das plantas, os microrganismos estabelecem uma relação simbiótica com a planta aquática resultando uma sinergia (aumento da taxa de degradação do efluente junto às raízes das plantas). Existem vários sistemas de aplicação de macrófitas consoante do tipo de planta macrófita:

- Macrófitas aquáticas flutuantes – plantas com tecidos fotossintéticos flutuantes e com raízes longas. Os géneros mais comuns neste tipo de tratamento são Eichhornia, Hydrocotyle, Pistia e Azolla (Oliveira, 2006).
- Macrófitas aquáticas emergentes – Normalmente são canas, juncos e caniços.
- Macrófitas aquáticas submersas – plantas com os tecidos fotossintéticos completamente imersos. As principais espécies que integram este tipo são: Elodea canadensis, Elodea nuttalli, Eregia densa, Ceratophyllum demersum, Hydrilla verticillata, Cabomba caroliniana, Myriophyllum heterophyllum e Potamogeton spp. (Oliveira, 2006).



Figura 3.9 – Espécie de caniço do género *Phragmites* (Wikipédia, 2006).

Este sistema de tratamento é caracterizado pela sua facilidade de operação e baixos custos de manutenção quando comparado com os sistemas de tratamento convencionais. Apesar do custo do meio ser elevado e representar cerca de 50% do custo total, este sistema de tratamento é inodoro e evita a transmissão de doenças por vectores.

Mars *et al.*, (2003) estudaram o tratamento de águas cinzentas com leitos de macrófitas submersas de rápido crescimento do género *Triglochin*, através da remoção de nutrientes com fluxo superficial e sub-superficial. As eficiências de remoção encontradas são satisfatórias, sendo que o leito com fluxo superficial atingiu eficiência de remoção mais elevadas, tal como se pode observar na Tabela 3.5.

Tabela 3.5 - Comparação da eficiência de remoção em leitos com fluxo superficial e fluxo sub-superficial (Mars *et al.*, 2003).

Tratamento	Remoção de $\text{NO}_3 - \text{N}$ (%)	Remoção de $\text{NH}_3 - \text{N}$ (%)	Remoção de $\text{P}_{\text{total}}$ (%)
Fluxo Sub-superficial	64	94	96
Fluxo superficial	21	18	83

### 3.3.2. UASB – upflow anaerobic sludge blanket

Os UASB (upflow anaerobic sludge blanket) são digestores anaeróbios que formam um manto de lamas granulares e suspensas no tanque. A água a tratar flui ascendentemente através do manto e é processada por microrganismos anaeróbios. O fluxo ascensional combinado com a acção de sedimentação gravítica suspende o manto com a ajuda de floculantes. Esta tecnologia foi desenvolvida na Holanda nos anos 70.

Elmitwalli et al. (2007<sup>a</sup>) instalaram um reactor UASB piloto na Alemanha e realizaram três ensaios com tempos de retenção hidráulico de 20, 12 e 8 horas, nos quais foram atingidos eficiências de remoção de CQO de 31%, 41% e 33%, respectivamente. No que diz respeito à remoção de nutrientes, o UASB removeu apenas os nutrientes na forma particulada por sedimentação, o que resultou numa remoção relativamente baixa de nutrientes.

### **3.4. Sistemas Biomecânicos**

Estes sistemas têm como princípio o tratamento biológico do efluente assistido por dispositivos mecânicos que permitem aumentar a eficiência do sistema, ou seja, combinam operações unitárias físicas com operações unitárias biológicas com dispositivos electromecânicos.

#### **3.4.1. Sistemas Biomecânicos simples**

Os sistemas biomecânicos simples são unidades compactas cujo processo de tratamento é o das lamas activadas. São ETAR compactas com tratamento biológico por lamas activadas. Na figura 3.10 podem visualizar-se as várias etapas de tratamento de uma unidade compacta de tratamento biológico de águas cinzentas. O esquema representa o Aquacycle que corresponde a apenas um exemplo dos inúmeros sistemas de tratamento comerciais existentes no mercado. O processo de tratamento desenvolve-se nas seguintes fases:

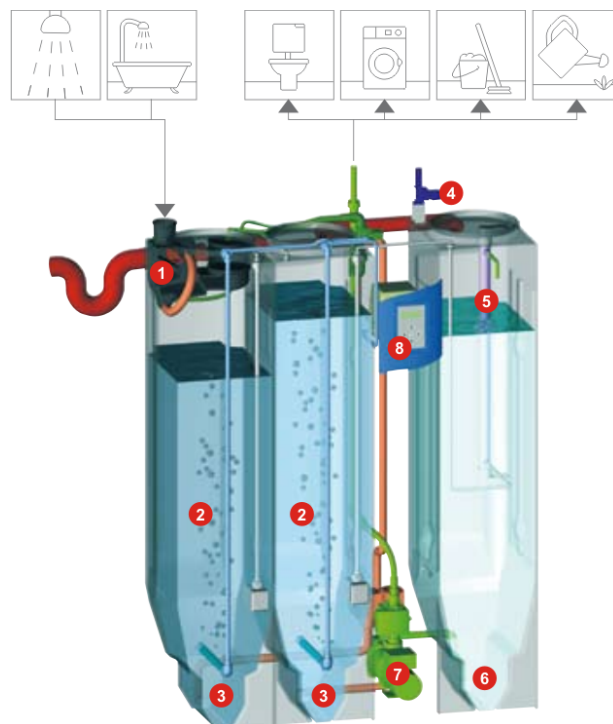


Figura 3.10 – Unidade compacta de tratamento biológico Aquacycle®900.

- 1.Unidade de filtração grosseira com controlo electrónico que recebe efluentes dos banhos.
- 2.O sistema submete o efluente para um tratamento biológico com arejamento forçado em duas etapas.
- 3.O sistema automático de extracção de lamas remove as mesmas do órgão biológico remetendo-as para o sistema de saneamento predial.
- 4.Sistema de entrada de água potável.
- 5.Sistema de desinfecção por UV. Permite acumulação da água tratada por períodos mais longos uma vez que inibe a formação de odores indesejáveis.
6. A câmara de água tratada armazena a água tratada.
- 7.A electrobomba de pressurização eleva a água tratada e alimenta a lavagem automática dos filtros por meio de uma electro-válvula.
- 8.Um painel de controlo de uso “amigável” (“user-friendly”) com funções de economia de energia e de teste.

Esta unidade de tratamento garante qualidade de efluente tratado com qualidade de água recreativa de acordo com a Directiva-Quadro da Água e permite tratar caudais que podem variar ente 600 a 30 000 l diários.

### 3.4.2. MBR – Reactores biológicos de membrana

O sistema de Reactores Biológicos de membranas deriva da conjugação do processo de tratamento convencional de biomassa suspensa com os processos de microfiltração ou ultrafiltração (Figura 3.11). O reactor opera de forma semelhante ao processo convencional de lamas activadas mas não requer decantação secundária nem tratamento terciário. As duas configurações principais de MBR's são membranas submersas e membranas externas.

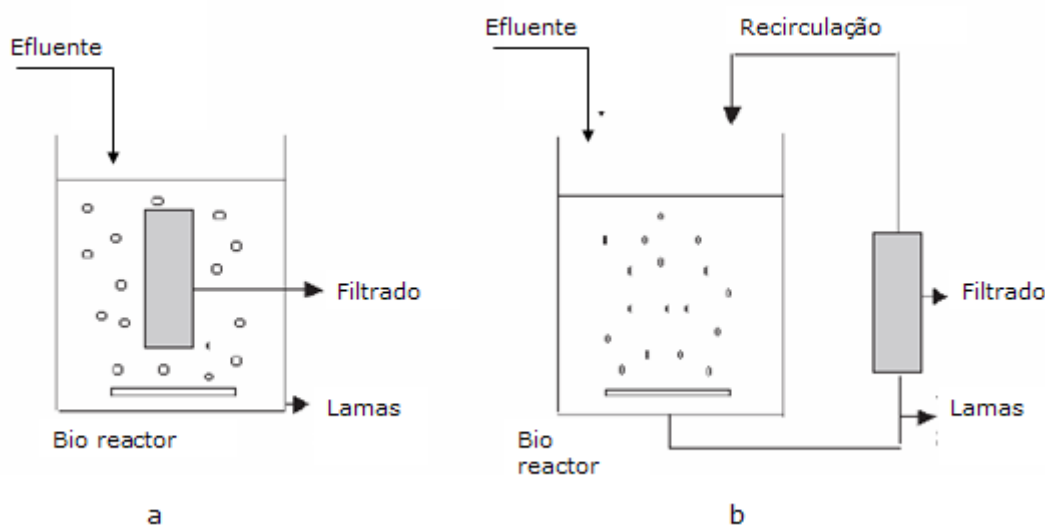


Figura 3.11 – Configuração de sistemas MBR: (a) MBR submerso, (b) MBR externo.

É conveniente instalar dispositivos de pré-tratamento a montante para prevenir o entupimento da membrana com fibras, cabelos e outros (Melin *et al.*, 2006).

Desde as primeiras instalações, na década de 90, o número de sistemas MBR instalados subiu consideravelmente, sendo que, actualmente, representa a tecnologia de ponta no que diz respeito ao tratamento de águas residuais. É um sistema de tratamento de águas residuais biológico que utiliza membranas de micro/ultra filtração, produzindo um efluente de qualidade equivalente a um tratamento terciário com remoção completa de agentes patogénicos. A qualidade do efluente processado é consistente, uma vez que não é afectada nem pela carga hidráulica nem pela sobrecarga de matéria orgânica ou sólidos. É extremamente compacto e intensivo, com baixa produção de lamas. A qualidade do efluente tratado garantida e expectável é apresentada na Tabela 3.6. Podem-se enumerar como principais desvantagens dos MBR, as seguintes características: instalação e operação relativamente dispendiosas, monitorização e manutenção da



membrana frequentes e inúmeras limitações impostas pela pressão, temperatura e pH toleradas pela membrana (Melin *et al.*, 2006).

Tabela 3.6 – Performance do MBR (Membrane Biological Reactor) (Kennedy/Jenks consultants).

Parâmetros do Efluente	Resultados garantidos pelo MBR	Resultados típicos do MBR
<b>CBO<sub>5</sub></b>	< 5 ppm	< 0.4 ppm
<b>SST</b>	< 5 ppm	< 0.4 ppm
<b>Turbidez</b>	< 1 NTU	< 0.3 NTU
<b>NH<sub>3</sub>-N</b>	< 1 ppm	< 0.5 ppm
<b>N<sub>total</sub></b>	< 10 ppm	< 5 ppm
<b>P<sub>total</sub></b>	< 0.5 ppm	< 0.2 ppm

Na maioria dos processos de filtração por membranas o caudal decresce durante a filtração devido à colmatção da membrana. O factor-chave da operação deste órgão é o controlo da colmatção da membrana que é significativamente influenciada pelas condições hidrodinâmicas, tipo de membrana, configuração do módulo e presença de compostos com pesos moleculares elevados (Melin *et al.*, 2006).

Um exemplo de aplicação MBR's num sistema de tratamento de águas cinzentas pode ser o seguinte: um tanque de equalização à cabeça, seguido do reactor biológico de membranas, posterior unidade de desinfecção e tanque de armazenagem de efluente para regulação de caudal, tal como está esquematizado na Figura 3.12.

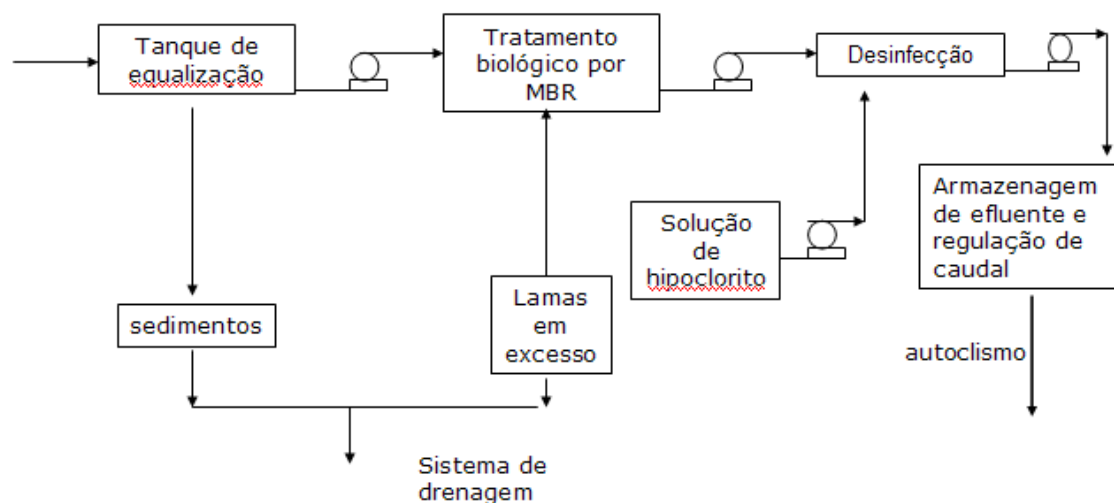


Figura 3.12 - Possível esquema de tratamento de águas cinzentas com reactores biológicos de membranas.

Friedler *et al.* (2006b) testou o tratamento de águas cinzentas através de reactores biológicos de membranas seguidos de uma etapa de desinfecção atingindo os resultados apresentados na Tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Resultados da experiência de Friedler com MBR *et al.*, 2006b.

	Turvação (NTU)		SST (mg/L)		SSV (mg/L)	CQO <sub>t</sub> (mg/L)	CQO <sub>d</sub> (mg/L)	CBO <sub>t</sub> (mg/L)	CBO <sub>d</sub> (mg/L)
	Friedler (2006b)	Humeau (2011)	Friedler (2006b)	Humeau (2011)					
<b>Água cinzenta</b>	65	6.8	92	71.8	64	211	108	69	36
<b>Efluente</b>	0.2	1.7	12	2	8.4	40	37	1.1	0.5
<b>Eficiência de remoção (%)</b>	99.7	77%	87	97%	87	81	66	98	99

Paris *et al.* (2010) testaram um sistema de tratamento comercializado pela HUBER, o HUBER Greyuse, um MBR, que consiste numa tamisação de 1 mm, um tanque de equalização e um reactor de membrana biológico com módulos de ultra-filtração submersos desenhado para um caudal máximo de 5.5 m<sup>3</sup>/dia. A Figura 3.13 ilustra o processo.

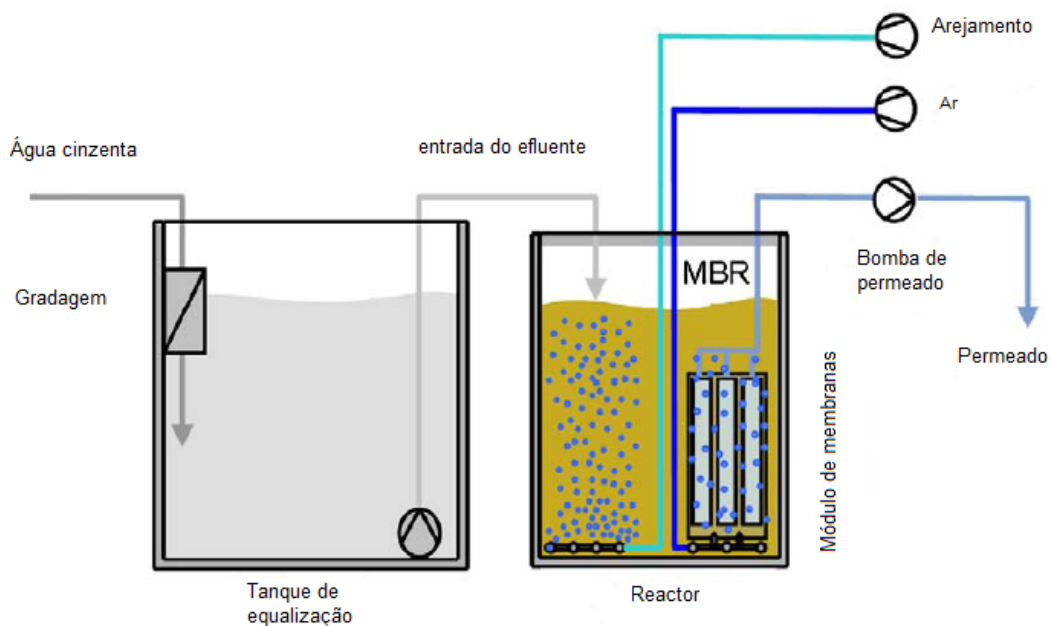


Figura 3.13 – Diagrama linear do sistema de tratamento HUBER GreyUse®.

### 3.4.3. Discos Biológicos

#### RBC – Discos Biológicos

O sistema de discos biológicos rotativos representa uma tecnologia de eficiência comprovada. Os discos giram sobre um eixo com a ajuda de um motor eléctrico e a sua rotação é feita de forma a que se garanta que uma proporção da sua área superficial esteja sempre em contacto com o efluente. À medida que os discos vão girando, a superfície do meio é sujeita, alternadamente, ao contacto com a água residual e com o ar, favorecendo a estabilização, em ambos os lados do disco, de um filme de microrganismos (biomassa) activos e aeróbios. É mais extensiva, o que a torna especialmente mais adequada para estações de pequena dimensão.

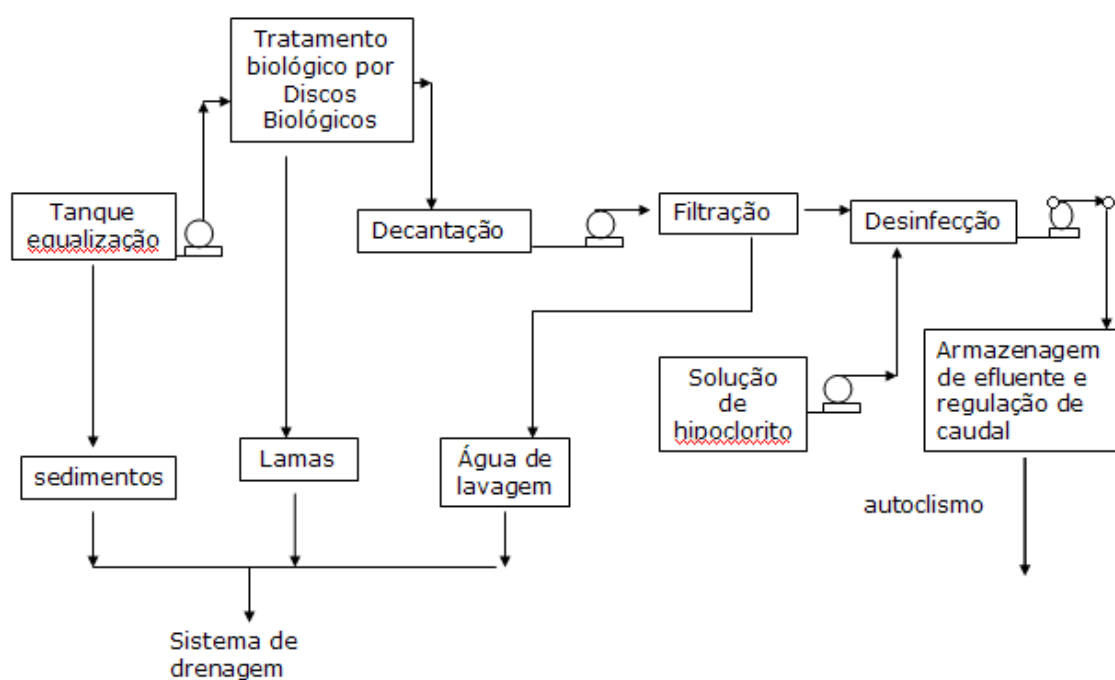


Figura 3.14 – Possível esquema de tratamento de águas cinzentas com discos biológicos.

Segundo Nolde (1999), um esquema semelhante ao anterior - constituído por um decantador tronco-cónico à cabeça, seguido de um reactor de Discos biológicos acoplado a um clarificador para remover biomassa e, por fim, um dispositivo de desinfecção UV – provou a sua eficiência e aplicabilidade durante uma década.

Friedler *et al.* (2006b) testou o tratamento de águas cinzentas com discos biológicos seguido de um decantador e posterior filtração simples seguida de desinfecção e foram alcançados os resultados apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 – Resultados da experiência de Friedler com discos biológicos *et al.*, 2006b.

	Turvação (NTU)	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	CQO <sub>t</sub> (mg/L)	CQO <sub>d</sub> (mg/L)	CBO <sub>t</sub> (mg/L)	CBO <sub>d</sub> (mg/L)
<b>Água cinzenta</b>	65	92	64	211	108	69	36
<b>Efluente</b>	1.6	13	8.6	47	48	3.7	1.5
<b>Eficiência de remoção (%)</b>	98	86	87	78	56	95	96

As eficiências de remoção apresentadas na Tabela 3.8 são muito elevadas.

A tecnologia mais comum para reutilização de água cinzenta no Reino unido é a filtração grosseira seguida de desinfecção. Este processo é caracterizado por tempo de retenção curto com vista a que a natureza química das águas cinzentas permaneça inalterada, permitindo que o tratamento exigido seja mínimo. A desinfecção é atingida por adição de cloro ou bromo em solução líquida. No entanto a carga orgânica e a turbidez da água filtrada permanecem elevadas, limitando a desinfecção, por duas razões. Primeiro, a água cinzenta contém partículas floculentas de diâmetro superior a 40  $\mu$ m pois o agente desinfectante não consegue difundir-se nos flocos para atingir os agentes patogénicos. Por outro lado, a presença de matéria orgânica na água exige um desinfectante, mas no caso da utilização de cloro, os sub-produtos do processo podem ser cloraminas e tri-halometanos, que têm menor capacidade de desinfecção e produzem efeitos adversos na saúde humana. Os sistema de filtração por membrana constituem uma barreira permanente aos sólidos suspensos de diâmetro superior ao material da membrana, que pode variar de 0.55  $\mu$ m (membranas microfiltração) até dimensões moleculares (osmose inversa).

### 3.5. Análise comparativa dos vários sistemas

Este subcapítulo pretende sumarizar a diversidade de sistemas de tratamento testados assim como as respectivas vantagens e desvantagens.

Tabela 3.9 – Comparação dos principais aspectos positivos e negativos de cada sistema de tratamento testado listado no Capítulo 3

Sistema de Tratamento	Aspectos Positivos	Aspectos Negativos
Reutilização Directa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples</li> <li>• Económico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitação do tipo de reutilização</li> <li>• Limitação do tempo de retenção</li> </ul>
Filtração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples</li> <li>• Económico</li> <li>• Variedade de soluções comerciais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Limitação do tipo de reutilização</li> <li>• Limitação do tempo de retenção</li> </ul>
Filtração com Desinfecção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples</li> <li>• Viabiliza sistemas artesanais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraca eficiência de remoção de SST e CBO<sub>5</sub></li> <li>• Limitação do tipo de reutilização</li> </ul>
Coagulação com Sedimentação e Filtração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente remoção de turvação e sólidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraca eficiência de remoção de CQO e CBO<sub>5</sub></li> <li>• Custos e intensidade de manutenção elevados</li> <li>• Custos dos consumíveis</li> </ul>
Nanofiltração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente remoção de turvação e de sólidos</li> <li>• Potencialidade aumenta com a dimensão do sistema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fraca eficiência de remoção de CQO (60%)</li> <li>• Custos de manutenção e exploração elevados</li> </ul>
Electrocoagulação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solução compacta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos consumíveis</li> </ul>
Permuta Iónica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Custos consumíveis</li> <li>• Fraca remoção de matéria orgânica</li> </ul>
Leitos de Macrófitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Elevada eficiência de tratamento</li> <li>• Facilidade de operação</li> <li>• Custo de manutenção reduzido</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Investimento inicial elevado</li> </ul>
UASB	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ineficiente remoção de matéria orgânica</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grande variedade de soluções comerciais</li> </ul>
Sistemas Biomecânicos Simples	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencialidade de expansão modular</li> </ul>	
MBR	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência de remoção de matéria orgânica excelente</li> <li>• Potencial dispensa de desinfecção</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia com custo de investimento elevado</li> </ul>
Discos Biológicos e Filtração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eficiência de remoção de matéria orgânica excelente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tecnologia com custo de investimento elevado</li> </ul>



## 4. CUSTO-BENEFÍCIO

A reutilização de águas cinzentas é uma prática recente e como tal são raras as considerações e estudos da sua viabilidade económica. Os custos associados ao elevado consumo de água potável no meio hídrico assim como os elevados volumes de água descarregados nas massas de água ainda não foram exactamente quantificados. Nuna análise holística estes aspectos têm de ser considerados.

O custo-benefício de um sistema de águas cinzentas é variável de acordo com o tipo de sistema. A poupança depende de:

- Volume de água poupada;
- Custo da alteração da rede de recolha e distribuição;
- Custos de instalação, operação e manutenção

Os custos de investimento e operação podem ser divididos em várias parcelas:

- Custos de investimento;
- Custos de operação:
  - Custos de manutenção;
  - Custos de inspecção;
  - Custos energéticos;

A opção por um simples sistema de recolha e transporte de águas de banhos arrefecidas para irrigação de um jardim implica um lucro substancial uma vez que o capital de investimento inicial é muito diminuto. Por outro lado, a instalação de um sistema biomecânico para tratamento de águas cinzentas cuja única utilização é a descarga de autoclismos numa habitação singular, põe em causa o retorno do investimento.

Esta análise pode ser feita de forma muito simples, calculando por exemplo a poupança associada a um sistema de tratamento de águas cinzentas para reutilização em recarga de autoclismos.

Como já foi referido anteriormente, o custo associado a um sistema de tratamento de águas cinzentas é muito variável e afectado por inúmeras funções, no entanto para estabelecer esta análise custo-benefício, usaram-se valores de 2500 € e 500 € para o custo inicial e custo de instalação do sistema, respectivamente. Estes valores são bastante conservadores tendo em conta os praticados no mercado de sistemas domésticos de pequenas dimensões. A variabilidade do custo aumenta directamente com a dimensão dos sistema a considerar. Paralelamente, o custo por unidade de volume de água tratada geralmente diminui com a capacidade do sistema.

Tabela 4.1 - Cálculo do custo-benefício de um sistema de reutilização de águas cinzentas para recarga de autoclismos

	Autoclismo normal	Autoclismo reduzido
Volume da descarga (L)	6.0	4.5
Descargas/ habitante/ dia	4	4
Número de habitantes	2.7 (census 2011)	2.7
Caudal diário (l/dia)	64.8	48.6
Caudal Anual (m <sup>3</sup> /ano)	23.65	17.74
Custo unitário de água potável e saneamento básico (€/m <sup>3</sup> )	1.43 + 0.71 = 2.14	1.43 + 0.71 (este valor ersar,2010)
Poupança em água (€/ano)	50.61	37.96
Custo do sistema de tratamento de água (€)	3000	3000
Payback (anos)	59.3	79

A Tabela 5.1 mostra uma análise de custo-benefício, explicitando a poupança associada a um sistema em que a recarga de autoclismos de uma habitação com 2.7 habitantes é feita exclusivamente com água regenerada.

Uma vez que não se considerou nenhum sistema em particular, não foram considerados custos de manutenção e exploração, que contribuiriam para aumentar o tempo de retorno do investimento, por falta de dados.

O tempo de retorno do investimento poderia ser reduzido drasticamente caso houvesse maior amplitude da aplicabilidade das águas tratadas. A rega de um jardim é um exemplo de aplicação que reverteria a análise pois está associado a grandes caudais. A substituição deste caudal de água potável por água cinzenta tratada reflectir-se-ia num aumento da poupança de água e, consequentemente, numa redução substancial do tempo de retorno do investimento inicial.

Outra condicionante muito relevante para uma análise desta natureza é o custo da água e do saneamento que é muito variável com a localização geográfica, uma vez que, em Portugal, as tarifas são muito variáveis.



## 5. CONCLUSÕES

A reutilização de águas cinzentas tem duas forças motrizes, a redução do consumo de água potável e a redução, sobrecarga nos sistemas de recolha e tratamento de águas residuais, cujos benefícios económicos e ambientais são significativos.

Esta abordagem tem uma série de desafios, sendo a componente de aceitação social um dos principais pois é essencial para dinamizar a reutilização das águas cinzentas. Além da indispensável aceitação da prática por parte da população, a viabilidade deste tipo de sistemas é indissociável dos seguintes factores-chave: fiabilidade, segurança e custo. A implementação deste tipo de sistemas em grande escala só será viável quando existir uma opinião positiva da população sobre este tema e quando a mesma for suportada com a informação necessária.

A comunidade científica está muito focada em dois subtemas de elevada importância nesta matéria: testar e seleccionar o melhor sistema de tratamento de águas cinzentas e salvaguardar todos os efeitos nocivos para o ambiente e humanidade consequentes da reutilização deste fluxo. O número de casos de estudo sobre estas temáticas ultrapassa as centenas e muitos deles estão aqui citados. No entanto, existem outras duas temáticas que necessitam de ganhar relevo para impulsionar ou viabilizar o tratamento separativo deste fluxo em massa, através da descentralização do sistema de saneamento. Tanto o destino como o tratamento das águas negras e as consequências da remoção parcial destes fluxos do sistema de saneamento centralizado existente são dois temas essenciais para um entendimento desta matéria, assim como para a viabilidade desta nova abordagem de saneamento.

A maior lacuna nas bases necessárias para avançar com sistemas deste tipo a grande ou pequena escala é a nível de diplomas legais específicos para o tipo de fluxo tratado assim como para os diversos tipos de aplicações. O acesso a regulamentação legal não só previne potenciais constrangimentos da reutilização efluente tratado como também serve de alicerce à criação de confiança neste novo mecanismo na população. É importante que a regulamentação cubra todos os tipos de reutilização não potáveis possíveis pois cada um deles terá critérios de qualidade diferenciados.

Além da regulamentação legal necessária para salvaguardar a humanidade e ambiente dos potenciais efeitos nocivos da utilização destes fluxos, é de extrema importância intervir a curto prazo na regulamentação de canalização de águas e esgotos exigindo a instalação de sistemas de recolha e distribuição destes novos fluxos (águas cinzentas e águas cinzentas tratadas) por forma a contribuir para o potencial da reutilização de águas cinzentas *a posteriori*.



## 6. BIBLIOGRAFIA:

Agência Europeia do Ambiente (AEA), (2000). Recursos hídricos na Europa: uma utilização sustentável? Agência Europeia do Ambiente, Copenhaga.

Ahmed, M., Prathapar, S., Al-Jamrah, A., Al-Maskiri, A., Al-Belushi, A. "Greywater reuse in arid countries: problems and possibilities".

Ahmed, M., Al Sidairi, S., Prathapar, A., Al-Adawi, S., 2008. "Evaluation of custom made and comercial greywater treatment systems: a case from Oman". *International Journal of Environmental Studies*. 65, 33-40.

Al-Jayyyousi, O.R., 2003. "Greywater reuse: towards sustainable water management". *Desalination*. 156, 181-192.

Alfiya, Y., Danti, O., Stoler-Katz, A., Zoubi, A., Shaviv, A., Friedler, E., 2012. "Potencial impacts of on-site greywater reuse in landscape irrigation". *Water Science & Technology*. 65.4, 757-764.

Almeida, M.C., Butler, D., Friedler, E., 1999. " At-source domestic wastewater quality". *Urban Water*. 1, 49-55.

ANQIP, ETA 0905, *Sistemas prediais de reutilização e reciclagem de águas cinzentas* (SPRAC). Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais (Versão 1), 2011.

Australian Capital Territory. Greywater Use: Guidelines for residential properties in Camberra. (2004). *Australian Capital Territory*. Austrália: Camberra.

Canadian Guidelines for household reclaimed water for use in toilet and urinal flushing, 2010. Health Ministry.

Chaillou, K., Gerente, C., Andrès, Y., 2010. "Bathroom Greywater Characterization and Potential Treatments for Reuse". *Water Air Soil Pollut*. 215, 31-42.

Chin, J.L., Shang, L.L., Chao, Y.K., Chung, H.W., 2005. "Pilot-Scale Electrocoagulation with Bipolar Aluminum Electrodes for On-Site Domestic Greywater Reuse". *Journal of Environmental Engineering*. 491-495. Março 2005.

Coutinho, A., 2009. "Reutilização de Água – Utilização de águas cinzentas in situ". Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Dallas, S., Scheffe, B., Ho, G., 2004. "Reedbeds for greywater treatment-case study in Santa Elena-Monteverde, Costa Rica, Central America". *Ecological engineering*. 23, 55-61.

Decreto 2 maggio. (2006). "Norme Tecniche per il riutilizzo delle acque reflue. Italia : Ministero dell'Ambiente della tutela del territorio.

Decreto 21/2006 de 14 de Fevereiro (2006)

Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho (1997).

Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto (1997).

Directiva Comunitária 91/271/CEE de 21 de Maio de (1991).

Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., 1999. "Water saving potencial of domestic water reuse systems using greywater and rainwater in combination". Water Science & Technology. 39 (5), 25-32. (precisa de mais uma leitura).

Dixon, A., Butler, D., Fewkes, A., Robinson, M., 1999 b). "Measurement and modelling of quality changes in stored untreated grey water". Urban Water. 1, 293-306.

EEA, 2005. "The European Environment – state and outlook 2005".

EEA, 2007. Briefing. "Climate change and water adaptation issues"

EEA, 2009. "Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought"

Elmitwalli, T.A., Shalabi, M., Wendland, C., Otterpohl, R., 2007. "Grey water treatment in UASB reactor at ambient temperature". Water Science & Technology. 55 (7), 173-180. (a)

Elmitwalli, T.A., Otterpohl, R., 2007. "Anaerobic biodegradability and treatment of greywater in upflow sludge blanket (UASB) reactor". Water Research. 41, 1379-1387.

EPA, 2004. "Guidelines for Water Reuse".

Eriksson, E., Auffarth, K., Henze, M., Ledin, A., 2002. "Characteristics of grey wastewater". Urban Water. 4, 85-104.

Eriksson, E., Baun, A., Henze, M., Ledin, A., 2006. "Phytotoxicity of grey wastewater evaluated by toxicity tests". Urban Water Journal, Vol. 3, N.º 1, Março 2006.

ERSAR, Entidade Reguladora dos Serviços de Águas e Resíduos, 2010. "Relatório Anual do Sector das Águas e Resíduos em Portugal". (RASARP,2010)

Fenner, R.A., Komvuschara, K., 2005. "A new kinetic model for ultraviolet disinfection of greywater". Journal of Environmental Engineering. Junho 2005, 850-864.

Finley, S., Barrington, S., Lyew, D., 2009. "Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops". Water Air Soil Pollut. 199, 235-245.

Friedler, E., 2004. "Quality of individual domestic greywater streams and its implication for on-site treatment and reuse possibilities". Environmental Technology. 25, 997-1008.

Friedler, E., Hadari, M., 2006. "Economic feasibility in multi-storey buildings." Desalination. 190, 221-234.

Friedler, E., Kovalio, R., Ben-zvi, A., 2006 (b). "Comparative study of the microbial quality of greywater treated by three on-site treatment systems". Environmental Technology. 27, 653-663.

Friedler, E., Alfiya, Y., 2010. "Physicochemical treatment of Office and public buildings". Water Science & Technology. 62 (10) (2010) 2357-2363.

Gajurel, D.R., Li, Z., Otterpohl, R., 2003. "Investigation of the effectiveness of source control sanitation concepts including pre-treatment with Rottebahaelter". Water Science and Technology. 48, 111-118.

Günther, F., 2000. "Wastewater treatment by greywater separation: outline for a biologically based greywater purification plant in Sweden". Ecological Engineering. 15, 139-146.

Hoek, J.P.van, Dijkman, B.J., Terpstra, G.J., Uitzinger, M.J., Dillen, M.R.B.van., 1999. "Selection and evaluation of a new concept of water supply for Ijburg Amsterdam". Water science and Technology. 39 (5), 33-40.

Hourlier, F., Masse, A., Jaouen, P., Lakel, A., Gerente, C., Faur, C., Le Cloirec, P., 2010. "Formulation of synthetic greywater as an evaluation tool for wastewater recycling technologies". Environmental Technology. 31 (2), 215-223.

Howarth, D., 1998. "Barriers to uptake of rainwater and greywater systems". *Workshop Royal Society for CIRIA Project Buildings that Save Water*, London, 1998.

Humeau, P., Hourlier, F., Bulteau, G., Massé, A., Jaouen, P., Gérente, C., Faur, C., Cloirec, P. Le, 2011. "Estimated costs of implementation of membrane processes for on-site greywater recycling". Water Science & Technology. 63 (12), 2949-2956.

Imhoff, K., Imhoff, K., 1998. Manual de tratamento de águas residuárias. Edição Edgard Blücher, São Paulo, Brasil. (26ª edição).

Jefferson, B., Laine, A., Parsons, S., Stephenson, T., Judd, S., 1999. "Technologies for domestic wastewater recycling". Urban Water. 1, 285-292.

Jeppesen, B., 1996. "Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future". Desalination. 106, 311-315.

Khoury-Nolde, N., Nolde, E., Translation of fbr – information sheet H 201, in: Fachvereinigung Betriebs- und Regenwassernutzung e.V. (fbr), Darmstadt: Ingenieurbüro Nolde & Partner, 2005.

Lei da Água Lei n.º 58/2005.

Lencastre, A., Carvalho, J., Gonçalves, J., Piedade, M., 1994. "Custos de Construção e exploração". Instrumentos de apoio a uma política de desenvolvimento sustentável em saneamento básico.

Li, Z., Gulyas, H., Jahn, M., Gajurel, D.R., Otterpohl, R., 2003. "Greywater treatment by constructed wetlands in combination with  $\text{TiO}_2$  – based photocatalytic oxidation for suburban and rural areas without sewer system". Water Science and Technology. 48 (11-12). 101-106.

March, J.G., Gual, M., Orozco, F., 2004. "Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel". Desalination. 164, 241-247.

March, J. G., Gual, M., 2009. "Studies on chlorination of greywater". Desalination. 249, 317-322.

Mars, R., Taplin, R., Ho, G., Mathew, K., 2003. "Greywater treatment with the submergent *Triglochin huegelii* – a comparison between surface and subsurface systems". Ecological Engineering. 20, 147-156.

Melin, T., Jefferson, B., Bixio, D., Thoeye, C., Wilde, W., Koning, J., Graaf, J., Wintgens, T., 2006. "Membrane bioreactor technology for wastewater treatment and reuse". Desalination. 187, 271-282.

Mendes, A., Gomes, F., Mendes, P., Martins, S., Silva, A.; Castro, D., Quadrado, F., Ferreira, F., Rodrigues, H., Branco, M., Telésforo, S., Silva, S., 2009. Relatório do Estado do Abastecimento de água e da Drenagem e Tratamento de Águas Residuais – Campanha INSAAR 2010. Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais.

Ministério do Ambiente, do ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional, Plano Estratégico de Abastecimento de Água e de Saneamento de Águas Residuais 2007-2013 (PEAASAR II) (MAOTDR, 2006)

NSW, (2006). Guideline for sewerred Residential Premises (Single households) Greywater Reuse.

NSWhealth, 2000. "Greywater reuse in sewerred single domestic permises".

Neves, M., Bertolo, E., Rossa, S., 2006. "Aproveitamento e reutilização da águas para usos domésticos". Jornadas de hidraulica Recursos hidricos e ambiente (2006).

Nixon, S.C., Lack, T.J., Hunt, D.T.E., Lallana, C., Boschet, A., 2000. Relatório de avaliação ambiental. "Recursos hídricos na Europa: uma utilização sustentável? Situação, perspectivas e questões". Agência Europeia do Ambiente.

Norma Portuguesa 4434 – Reutilização de águas residuais urbanas tratadas para rega (2005).

- Okalebo, S., 2004. "Development and trial of a low-cost aerobic greywater treatment system". School of Engineering and Industrial Design. University of Western Sydney, Australia, May 2004.
- Oliveira, M., 2006. "Utilização de *Azolla filiculoides* no Estudo Preliminar da tratabilidade de Efluentes da industria cervejeira". Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Olson, E., 1967. "Residential Wastewater". The Swedish National Institute for Building Research.
- Ordenanza Municipal Marco para ahorro de agua, aprovada pela Junta de Gobierno del Consorcio para el Abatecimiento de Agua y Saneamiento en el Principado de Asturias na sessão de 3 de Maio de 2006.
- Oschmann, N., Nghiem, L.D., Schafër, A.I., 2005. "Fouling mechanisms of submerged ultrafiltration membranes in greywater recycling". Desalination. 179, 215-223.
- Otterpohl, R., Albold, A., Oldenburg, M., 1999. " Source control in urban sanitation and waste management: ten systems with reuse of resources". Water Science Technology. 39 (5), 153-160.
- Otterpohl, R., Braun, U., Oldenburg, M., 2002. "Innovative Technologies for Decentralized Wastewater Management in Urban and Peri-Urban Areas". Keynote presentation at IWA Small2002, Istanbul, Setembro de 2002.
- Otterpohl, R., Braun, U., Oldenburg, M., 2003. "Innovative technologies for descentralized water-, wastewater and biowaste management in urban and peri-urban areas". Water Science and Technology. 48 (11-12), 23-32.
- Paris, S., Schlapp, C., 2010. "Greywater recycling in Vietnam – Application of the HUBER MBR process". Desalination. 250, 1027-1030.
- PNUEA (2012). *Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água*. MAOT-IA Lisboa.
- Queensland Government Onsite sewerage facilities. *Guidelines for the use and disposal of greywater in unsewered áreas*. Queensland Government, Local Government and Planning, Brisbane, Queensland Austrália, 2003.
- Ramon, G., Green, M., Semiat, R., Dosoretz, C., 2004. "Low strength graywater characterization and treatment by direct membrane filtration". Desalination, 140, 241-250.
- Real Decreto 1620/2007 de 7 de diciembre por el que se establece el regimen juridico de la reutilizacion de las aguas depuradas.
- Rijsberman, F., 2006. " Water Scarcity: fact or fiction?". Agricultural Water Management. 80 (1-3), 5-22.
- Rose, J., Sun, G.S., Gebra, C., Sinclair, N., 1990. " Microbial quality and persistence of enteric pathogens in graywater from various household sources". Water Research. 25 (1), 37-42.

Safe Drinking Water Act-PL 93-523. (1974).

Tajima, A. The behaviour of the pathogenic microbes in the treated wastewater reuse system and the establishment of the new technical standard for the reuse of treated wastewater. *Proc. of the IWA Specialty Conference on Wastewater Reclamation and Reuse for Sustainability*, 8<sup>th</sup> – 11<sup>th</sup> November 2005, Jeju Korea.

USEPA (U.S. Environmental Protection Agency). (2004). "Guidelines for water reuse". *EPA/625/R-04/108*. US. Washington DC: Agency for International Development.

Van Voorthuizen, E., Zwijnenburg, A., Van der Meer, W., Temmink, H., 2008. "Biological black water treatment combined with membrane separation". *Water Research*. 42, 4334-4340.

Viera, P., Moura e Silva, A., Baptista, J.M., Almeida, M.C., Ribeiro, R., 2002. "Inquérito aos hábitos de utilização e consumos de água na habitação". 10<sup>o</sup> Encontro Nacional de Saneamento Básico. Braga, Portugal, 2002.

Vinneras, B., Palmquist, H., Balmér, P., Jönsson, H., 2006. "The characteristics of household wastewater and biodegradable solid waste – A proposal for new Swedish design values". *Urban Water Journal*. 3, 3-11.

Wendland, C., Deegener, S., Behrendt, J., Toshev, P., Otterpohl, R., 2006. "Anaerobic Digestion of black water from vacuum toilets and kitchen refuse in a continuous stirred tank reactor CSTR". *Proceedings of the 7th Specialised Conference on Small Water and Wastewater Systems in Mexico*.

WHO Water Supply and Sanitary Council, 2000. *Global water supply and sanitation assessment 2000 report*. New York: WHO/UNICEF Joint Monitoring Programme for Water Supply and Sanitation, WA 675.

WHO (2001). "Water quality-guidelines standards and health: assessment of risk and risk management for water-related infectious disease".

WHO, Regional Office for the Eastern Mediterranean, 2006. "Overview of greywater management Health considerations".

WHO, 2008. "Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater". *International Journal of Environmental Studies*. 65, 157-176.

Wiel-Shafran, A., Ronen, Z., Weisbrod, N., Adar, E., Gross, A., 2006. "Potential changes in soil properties following irrigation with surfactant-rich greywater". *Ecological Engineering*. 26, 348-354.

Wright, M., 1996. "Safe use of household greywater".



Zeeman, G., Lettinga, G., 1999. "The role of anaerobic digestion of domestic sewage in closing the water and nutrient cycle at community level". Water Science and Technology. 39 (5), 187-194.

Endereços electrónicos consultados:

Águas de Portugal, 2012. URL: <http://www.adp.pt>, acedido a 11-09-2012.

<http://www.ecofur.pt> consultado no dia 13 de Setembro de 2012.

<http://www.ecoplay-systems.com> consultado no dia 10 de Setembro de 2012.

ERSAR, 2012. URL: <http://www.ersar.pt/>, acedido a 10-04-2012.

<http://www.freewateruk.co.uk> consultado no dia 11 de Setembro de 2012.

Huber, 2012. URL <http://www.huber.de>, consultado a 12-09-2012.

International Water Management Institute, 2012, <http://www.iwmi.cgiar.org/>, consultado a 2 de Novembro de 2012.

Instituto Nacional de Estatística, 2012. URL: <http://www.ine.pt>, acedido a 4 de Julho de 2012.

Pordata, 2012. URL: <http://www.pordata.pt/>, acedido a 15 de Agosto de 2012.

United States Geological Survey, 2012. *USGS Georgia Water Science Center*,

URL: <http://ga.water.usgs.gov>, acedido a 11-09-2012.

XARCIA, 2012. URL: <http://xarcia.org>, acedido a 25 de Outubro de 2012.



# ANEXOS

## ANEXO I

### FAZER TABELA COM ANEXO XVI DO DECRETO-LEI 236/98

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Alumínio ( <i>Al</i> )	mg/l	5,0	20	Risco de improdutividade em solos com <i>pH</i> 5,5. Em solos com <i>pH</i> 7 o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio ( <i>As</i> )	mg/l	0,10	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/l para a erva-do-sudão e 0,05 mg/l para o arroz.
Bário ( <i>Ba</i> )	mg/l	1,0		
Berílio ( <i>Be</i> )	mg/l	0,5	1,0	
Boro ( <i>B</i> )	mg/l	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/l.
Cádmio ( <i>Cd</i> )	mg/l	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações da ordem dos 0,1 mg/l em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restritivos, dado este ião se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar o ser humano.
Chumbo ( <i>Pb</i> )	mg/l	5,0	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos ( <i>Cl</i> )	mg/l	70		Para a cultura do tabaco recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/l, não devendo exceder os 70 mg/l.
Cobalto ( <i>Co</i> )	mg/l	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/l. Tende a ser inactivo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre ( <i>Cu</i> )	mg/l	0,20	5,0	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/l e 1 mg/l para diversas culturas.
Crómio total ( <i>Cr</i> )	mg/l	0,10	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restritivos.

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
Estanho ( <i>Sn</i> )	mg/l	2,0		
Ferro ( <i>Fe</i> )	mg/l	5,0		Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação do solo, tornando indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor ( <i>F</i> )	mg/l	1,0	15	Inactivado em solos neutros e alcalinos.
Lítio ( <i>Li</i> )	mg/l	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações Superiores a 5 mg/l; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações ( $\sim 0,075$ mg/l).
Manganés ( <i>Mn</i> )	mg/l	0,20	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/l, mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio ( <i>Mo</i> )	mg/l	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem no entanto ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel ( <i>Ni</i> )	mg/l	0,5	2,0	Tóxico para um certo número de culturas entre 0,5 mg/l e 1 mg/l; reduzida toxicidade para <i>pH</i> neutro ou alcalino.
Nitratos ( <i>NO3</i> )	mg/l	50		Concentrações elevadas podem afectar a produção e qualidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convirá contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade:				
CE	dS/m	1		Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
SDT	mg/l	640		
SAR (1)		8		Depende da salinidade da água, características do solo e do tipo de cultura a ser irrigada.
Selénio ( <i>Se</i> )	mg/l	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações da ordem dos 0,025 mg/l. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos	mg/l	60		Concentrações elevadas poderão ocasionar

Parâmetros	Expressão dos resultados	VMR	VMA	Observações
suspensos totais (SST).				colmatagem em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimentos nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos (SO <sub>4</sub> )	mg/l	575		
Vanádio (V)	mg/l	0,10	1,0	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco (Zn)	mg/l	2,0	10,0	Tóxico para diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH-6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
Coliformes fecais	/100 ml	100		
Ovos de parasitas intestinais	N/I		1	